INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y COMPUTADORES DE LA 5.ª GENERACION

NUEVAS TECNOLOGIAS

BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA




NUEVAS
TECNOLOGIAS
BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA

INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y COMPUTADORES DE LA 5.ª GENERACION



Esta obra es una nueva edición actualizada y ampliada de la obra originalmente publicada por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, con el título de «Aplicaciones de la Electrónica»

Autor de este libro:
Eduard Montseny Masip

El contenido de la presente obra ha sido realizado por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, bajo la dirección técnica de José Mompin Poblet, director de la revista «Mundo Electrónico»

Apartado de Correos 35432, Barcelona

ISBN 84-7634-485-6 (Obra completa)
ISBN 84-7634-873-8 (Vol. 60)
D. L.: B. 42723-1986

Impreso y encuadernado por
printer industria gráfica, sa c.n. II, cuatro caminos, s/n
08620 sant vicenç dels horts barcelona 1986

Printed in Spain

Inteligencia artificial y computadores de la 5.º generación

¿QUE ES LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL?

Tratar de dar una definición clara, precisa y completa de lo que es la Inteligencia Artificial (IA) es algo muy complejo. Este problema se puede entender si se trata de dar una definición de lo que es la inteligencia natural; se tiene idea de lo que es, pero explicarlo es muy difícil. Generalmente, cuando se trata de dar una definición del concepto inteligencia, se relaciona con las características asociadas al entendimiento humano. Así, Alfred Binet relacionó el concepto inteligencia con la comprensión, la invención, la orientación, el sentido crítico y la capacidad de juicio.

Durante muchos años se ha tratado de cuantificar la inteligencia del ser humano mediante pruebas de test, pero pronto se vio que dichas pruebas sólo podían, de alguna manera, cuantificar determinados factores de la competencia profesional. Hoy existen sistemas informáticos que pueden, con gran facilidad, resolver tests de inteligencia y sus diseñadores nunca han afirmado que sus sistemas sean inteligentes.

Así que no se dará una definición de lo que es la IA como tal, pero sí se pueden definir dos objetivos de ella.

1) Estudiar la comprensión de la inteligencia y diseñar máquinas inteligentes.
2) Estudiar cómo conseguir que los computadores hagan mejor que el hombre las cosas que hoy hacen peor.

La IA no pretende resolver los problemas para los cuales se precisa ser inteligente, sino que trata de resolver dichos problemas de la misma manera que los resolvería el ser humano.

El hombre, desde su origen, ha tratado de obtener más beneficios con menos esfuerzo. Se puede afirmar que la

calidad de vida del ser humano ha mejorado, y que el esfuerzo para alcanzarla se ha reducido notablemente; para ello, el hombre ha tenido que emplear la inteligencia, esta cualidad que le diferencia del resto de seres de la naturaleza.

Primero fueron las armas con las que el hombre podía defenderse mejor y cazar con menos dificultades. Después aparecieron las herramientas que reportaron mejores viviendas, mejores vestidos, mejores y más alimentos.... El hombre, al dejar de ser nómada para cuidar de sus animales y sus campos, precisó de herramientas más sofisticadas que le permitieran desarrollar más fuerza, o bien hacer más trabajo con menos fuerza. De esta forma pudo realizar trabajos que de otro modo hubieran resultado imposibles.

Siguiendo esta línea de evolución, en el siglo XVIII se inventan máquinas que son capaces de realizar ciertos trabajos a una velocidad muy superior a la del ser humano y con mayor perfección. Otras poseen más fuerza, otras....; es la Revolución Industrial. En esta época sólo se trataba de mejorar la capacidad física del hombre, aunque paralelamente Blaise Pascal empezaba a trabajar en el diseño de una máquina para sumar dos cantidades. Las posibilidades de mejora de las máquinas de la Revolución Industrial no están agotadas. A finales del siglo XIX las necesidades de efectuar cálculos (operaciones algebraicas, cálculos estadísticos, cálculo diferencial, etc.) eran cada vez mayores. Las máquinas construidas por Hahm (1770), Stanhope (1775), Müller (1783), Thomas (1820) no son suficientes y aparece un nuevo tipo de herramientas con unas características totalmente distintas a las de la Revolución Industrial, son las calculadoras y posteriormente los ordenadores. Ahora se trata de mejorar el rendimiento intelectual del ser humano. Este tipo de máquinas está revolucionando la actividad del hombre hasta el punto que en la mayoría de los campos en los que se utiliza, hoy es imprescindible.

La aparición de los ordenadores no era suficiente ya que hacía falta programarlos; así nació paralelamente la informática, y desde el nacimiento de ésta los investigadores empezaron a escribir programas que fueran capaces de jugar al ajedrez, solucionar puzzles, demostrar teoremas, traducir lenguas, etc., haciendo la IA como una rama de la informática.

La investigación en IA se centra en la resolución de un cierto tipo de problemas. Existen dos procedimientos para la

resolución de problemas: los *algorítmicos* y los *heurísticos*.

Los algoritmos son procedimientos claramente definidos que garantizan la solución de un problema. Pero existen problemas que, debido a su excesiva complejidad, dan lugar a algoritmos impracticables, el ordenador más rápido tardaría años o incluso siglos en resolverlos.



Los robots de la 3.ª Generación estarán dotados de sistemas de percepción e inteligencia artificial.

La heurística es un conjunto de estrategias que permiten encontrar la solución de un problema. La aplicación de esta técnica, mediante un ordenador, a la resolución de un problema está haciendo que éstos actúen de manera muy similar a la del ser humano. Así, la informática clásica estudia la resolución de problemas mediante el uso de algoritmos, y la IA es la rama de la informática que trata de resolver los problemas mediante el uso de procedimientos heurísticos.

Uno de los objetivos de la IA es diseñar y construir una máquina capaz de llevar a término tareas que el ser humano

considera inteligentes. Es evidente que el concepto «inteligente» es ambiguo y muy difícil de explicar; de la misma forma que en la vida cotidiana se presentan gran número de tareas que el ser humano resuelve sin el menor esfuerzo aunque le resulta difícil explicar cómo lo ha hecho. Por ejemplo, todas las personas entienden el lenguaje hablado o escrito, pero cuando tratan de explicar cómo han analizado el lenguaje se ve la gran dificultad que tiene esta tarea, sobre todo cuando se emplean frases hechas o palabras con doble sentido. En ocasiones, se entiende lo contrario de lo que el interlocutor está intentando explicar.



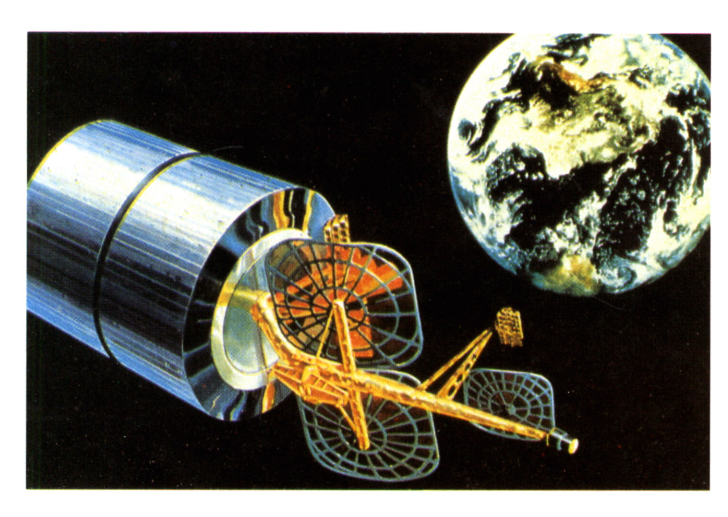
La revolución industrial facilitó el trabajo físico; la revolución informática facilita el trabajo intelectual. (Cortesía: Hewlett Packard).

La IA al estudiar problemas de este tipo, ha desvelado la enorme dificultad que éstos representan al tratar de resolverlos a través de un proceso de datos, y si se compara con la relativa facilidad con que el hombre puede resolverlos, queda clara la existencia de un largo camino para la IA.

ORIGEN HISTORICO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La creación de un ser inteligente por parte del hombre, ha sido y es uno de los sueños más antiguos de la Humanidad.

Tal como cuenta Ramón López de Mántaras en *La inteligencia artificial: desde los orígenes hasta el futuro*, las primeras manifestaciones del sueño de crear seres inteligentes, tienen lugar en la mitología griega cuando Homero (850 a.C.) describe los autómatas que ejecutaban los trabajos que resultaban demasiado pesados para los dioses.



La robótica aplicada a los satélites artificiales permite controlar giros y desplazamientos del módulo, así como orientar los instrumentos de observación y transmisión. (Cortesía: ESA)

La historia está llena de personas que crearon con su imaginación seres inmortales, engendros inteligentes, y otros que trataron de hacer estos sueños realidad. Ramón Llull, veinte siglos después de Homero, viajó a tierras musulmanas con el fin de convertir a éstos al cristianismo. Allí vió una máquina para pensar, llamada *Zairja,* que le impresionó mucho, tanto que regresó de su viaje con el fin de construir otra máquina para pensar en el mundo cristiano, la *Ars Magna*, con el objetivo de alcanzar la verdad mediante un razonamiento mecanizado. Lo más sorprendente de Ramón Llull es que creía que el razonamiento humano podría ser realizado por una máquina, lo mismo que creen hoy los investigadores de IA.

En el siglo XVI se empezaron a construir autómatas. Entre ellos destaca el *pato de Vaucanson,* que simulaba el proceso de digestión de los patos, o el autómata que podía mover un dedo con la precisión suficiente como para tocar la flauta.

En el empeño por crear máquinas inteligentes también han habido fraudes, como la *máquina de Von Kempelen* para jugar al ajedrez, la cual en realidad llevaba un hombrecillo en su interior que realizaba las jugadas.

La humanidad está llena de soñadores y por otro lado están los investigadores, que hacen que los sueños de éstos puedan llegar a ser realidad. El hombre se pasó muchos siglos soñando en viajar a nuestro satélite natural; los científicos, paso a paso, consiguieron primero acercar su imagen con potentes telescopios, luego mandar naves no tripuladas que visitaron la cara oculta y, finalmente, en 1969 se consiguió colocar al ser humano en la superficie de la Luna y traerlo de regreso a la Tierra.

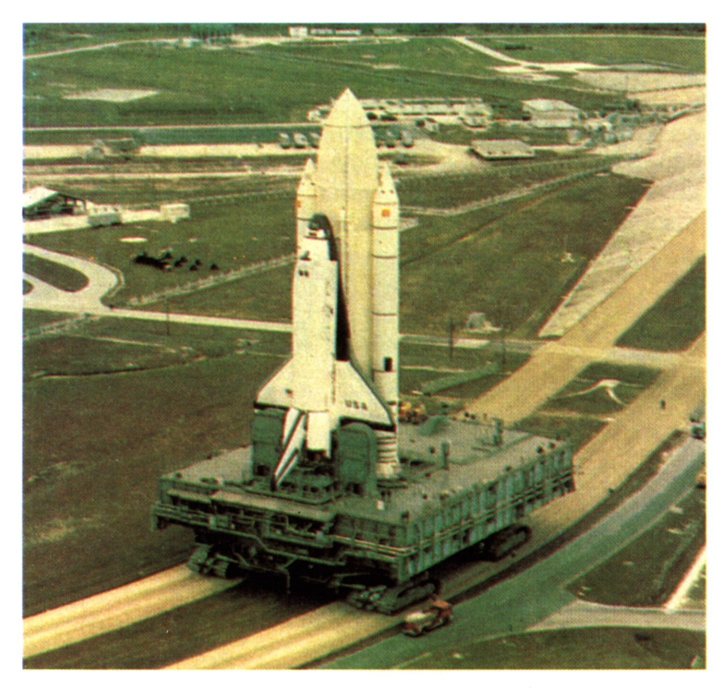
Así, con el fruto de la investigación de muchas personas se consigue que los grandes sueños puedan un día ser realidad. De igual modo, los investigadores desde hace muchos años están poniendo los medios para llegar a crear una «máquina inteligente». En este sentido, cabe destacar los trabajos de Charles Babbage y la Condesa Ada Lovelace (1825) con el calculador analítico, máquina que debía ser capaz de realizar cálculos analíticos, que, si bien no llegó a construirse totalmente, puede considerarse como el primer paso serio hacia el diseño del actual ordenador, aunque aquel era totalmente mecánico.

Babbage para realizar su sueño de construir el calculador analítico, trató, también en vano, de construir una máquina que jugase al ajedrez. Es sorprendente cómo para realizar máquinas inteligentes siempre se piensa en los juegos y en particular en el ajedrez, y aún sorprende más el hecho de que considerase el juego de ajedrez más sencillo que su calculador analítico, cuando hoy se dispone de muy buenos calculadores analíticos, y sin embargo no se tienen muy buenos jugadores electrónicos de ajedrez.

Torres Quevedo (1915) fue el primero en obtener algún resultado positivo. Así llegó a construir dos máquinas para jugar al ajedrez, pero sólo eran capaces de jugar finales de partida, por ejemplo, torre-rey contra rey. Torres Quevedo negó que sus autómatas fueran inteligentes, y por ello sugirió revisar el concepto «inteligente», ya que las operaciones realizadas por sus autómatas eran reconocidos popularmente como tales.

Herman Hollerith (1890) desarrolló una máquina con la que se efectuó el estudio de los datos del censo de la

población americana en 1890 y 1900. En 1910 James Powers, de la Oficina del Censo, empieza a construir máquinas con las que se efectuarían los censos de años sucesivos, y en 1927 fundaría su propia compañía Remington Rand.



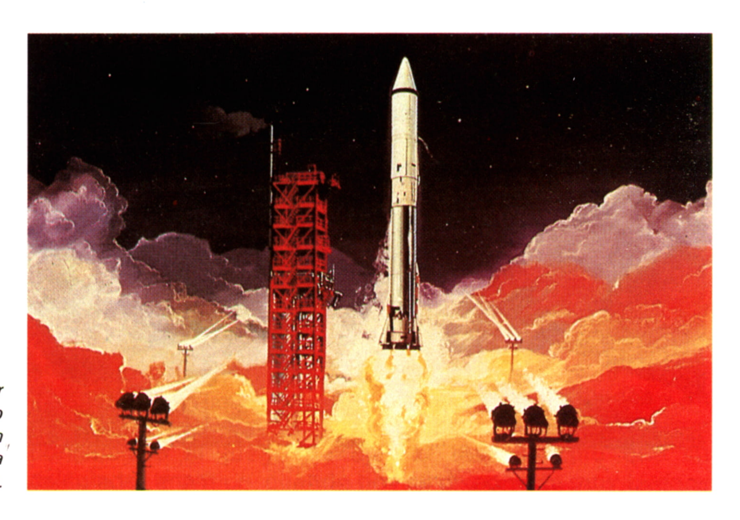
Los cinco ordenadores que lleva la lanzadera «Space Shutle» realizan cálculos y comprobaciones que a los pilotos les sería imposible realizar.

Hollerith, en 1876, también fundó su empresa Tabulating Machine Company, que después de la guerra de 1914 cambió de nombre y bajo la dirección de Thomas K. Watson pasó a denominarse *International Business Machinery Corporation* en 1924 (IBM), nombre mundialmente conocido en el día de hoy. Después de esta época ya dejan de conocerse los trabajos que se realizan, puesto que estos son propiedad de las empresas y éstas los guardan bajo estricto secreto.

Todos estos trabajos, como conjunto, dieron lugar a un nuevo tipo de máquinas que se conocen con el nombre de *computadores*, con la característica principal de que podían

ayudar al hombre en las actividades intelectuales y realizaban tareas que hasta hace pocos años antes habían sido consideradas como inteligentes, todo ello en un tiempo en el que el concepto inteligente iba siendo modificado.

Los computadores son unas máquinas que están capacitadas para realizar una gran cantidad de cálculos aritméticos y lógicos a una gran velocidad, siguiendo una secuencia de órdenes marcada por un programa (o sistema informático). Si bien a este tipo de máquinas se les ha etiquetado de rígidas y «tontas», es decir, incapaces de saltarse una coma o de suponer que una «ó» es un cero, han sido ellas las que han proporcionado la primera herramienta útil para el desarrollo de la IA.



El hombre soñó con viajar a la luna y llegó a nuestro satélite. Ahora sueña con construir una máquina «inteligente».

Church, Turing, junto con otros investigadores definieron un lazo de unión entre la noción de computación y la formalización del razonamiento. En la realización de estos trabajos hay que situar los orígenes modernos de la formalización de la inteligencia en un computador por medio de la lógica; es decir, la formalización matemática del razonamiento lógico.

Pero el nacimiento de la IA hay que centrarlo en la conferencia que en 1956 se celebró en el Darmouth College (EE.UU.), en la que intervinieron los diez más prestigiosos

científicos del momento y se debatió sobre las posibles maneras de simular el comportamiento humano mediante el uso de los computadores. Esta conferencia sirvió para definir las primeras líneas de trabajo o matriz disciplinar, y abrió un período que alcanza hasta 1968, en el que nacen los principales grupos de investigación en IA y se definen los principios generales.

Si bien la Conferencia de Dartmouth de 1956 marca el origen de la IA, el padre de ésta es Alan Turing (1937), el cual, en un artículo escrito en 1947 no publicado hasta 1969, realiza un ensayo acerca de si las máquinas son o no capaces de resolver problemas que no pueden ser resueltos por las personas. En un principio, el ensayo defiende la incapacidad de las máquinas para tales tareas para concluir con una serie de argumentos y conjeturas a favor de las posibilidades de construir máquinas inteligentes.

Tres años más tarde publicó un conocido trabajo, hoy uno de los clásicos de la IA: *Computing Machinery and Intelligence*, en el cual proponía un test para discernir si una máquina es o no inteligente, conocido universalmente como el «test de Turing». Este científico trató de definir cuando se podía afirmar que una máquina era inteligente; el test se define como un juego en el que deben intervenir un hombre, una mujer y un interrogador; este último puede ser indistintamente de uno u otro sexo. El interrogador debe situarse de forma que quede aislado de los otros y el test consistirá en que el interrogador debe averiguar quién es el hombre y quién la mujer, mediante una serie de preguntas realizadas a través de un teclado, sabiendo que tanto él como ella tratan de hacerse pasar por el hombre. Bien, ahora debe sustituirse a la mujer por una máquina «inteligente»; si ésta es capaz de ponerle difíciles las cosas al interrogador, entonces se podrá afirmar que es realmente inteligente, de otra manera no. De esta forma Turing definió qué entendía por una máquina inteligente, rehuyendo una definición formal.

De las máquinas inteligentes fabricadas hasta hoy, ninguna de ellas ha sido capaz de dar un resultado esperanzador en el test de Turing.

Turing tuvo y sigue teniendo muchos detractores. Su definición de máquina inteligente tal vez consideraría a muchas personas como no inteligentes. Algunos de sus detractores han llegado a afirmar que cuando una máquina realiza una actividad humana no es que la máquina sea

inteligente, simplemente es que dicha actividad no precisa inteligencia para ser realizada. Hoy esto es un tema abierto, y sobre el que se sigue discutiendo....

EVOLUCION DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

En un principio, los investigadores de la IA fueron muy optimistas y creyeron que resolver los problemas con los que debía enfrentarse la IA a fin de lograr sus objetivos (conseguir que los computadores hagan mejor que el hombre las cosas que hacen peor), disponiendo de la ayuda de las nuevas herramientas puestas a su disposición, sería muy fácil. Tanto era así, que se predecía en 1956 que en una década, una máquina inteligente sería el nuevo campeón del mundo de ajedrez, que en relativamente poco tiempo se conseguirían máquinas capaces de comportarse con una inteligencia igual a la del ser humano, y que en 25 años casi todas las personas estarían dedicadas fundamentamente al ocio. Evidentemente esto no se ha cumplido, y además está muy lejos de ser una realidad.

Al principio, al disponer de la ayuda de los sistemas informáticos que resultaban unas herramientas asequibles, potentes, flexibles y versátiles para la creación de nuevos modelos, los investigadores empezaron a escribir programas (software) para jugar al ajedrez, solucionar puzzles, demostrar teoremas, etc., y se consiguieron en poco tiempo resultados muy esperanzadores.

En 1956 Arthur Samuel, de IBM, puso a punto el primer programa capaz de jugar a damas, que además fue dotado de una capacidad de aprendizaje que le permitía mejorar su nivel de juego, y en pocos años podía participar en campeonatos.

En 1974 el programa había alcanzado un nivel muy alto, al derrotar a Donald Michie. El gran jugador comentó al finalizar la partida: «Desde que en 1954 perdí mi última partida, nunca he tenido un competidor más duro». Pero el juego de las damas es sencillo en comparación con el de ajedrez. Aunque se ha mejorado mucho, se realizan campeonatos entre «programas» y se ha llegado a la categoría de «gran maestro», no existe todavía ningún programa que sea capaz de poner en apuros al campeón del mundo...

Cuando se empezaron a escribir los primeros programas para juegos, se llegó rápidamente a la conclusión de que tales programas eran modelizables con relativa facilidad, y que el conjunto de los modelos de los programas para juegos constituía una base para la realización de nuevos programas. Algunos de los juegos admitían soluciones de tipo algorítmico. Es decir, se desarrollaban todas las posibilidades y en toda su profundiad. Pero se vio que este tipo de solución para juegos como el ajedrez era prohibitivo, ya que la evaluación de dicho algoritmo podía costar al ordenador más rápido de 50 o 100 años de cálculos. Por este motivo se decidió que sólo se podían plantear un reducido conjunto de posibles jugadas, y evaluarlas según un conjunto de reglas o conocimientos heurísticos.



Los computadores son máquinas que están capacitadas para realizar gran cantidad de cálculos aritméticos y lógicos a una gran velocidad. (Cortesía: Hewlett Packard).

Un problema parecido al que plantea el ajedrez se encontró en otras actividades que el ser humano puede realizar aparentemente sin esfuerzos y a gran velocidad, y que para un computador resultan muy complicados. Incluso resulta excesivamente complejo el hecho de representar estas actividades en términos informáticos. No eran modelizables según las representaciones de la informática clásica.

El nuevo sistema elegido constaba de una representación del conocimiento en la que se definen dos estructuras de datos; una describe el conocimiento del mundo, y otra describe el problema. Así, al procesar los datos de la segunda estructura también deberán procesarse los de la primera, que describirán los distintos caminos para conseguir la solución del problema.

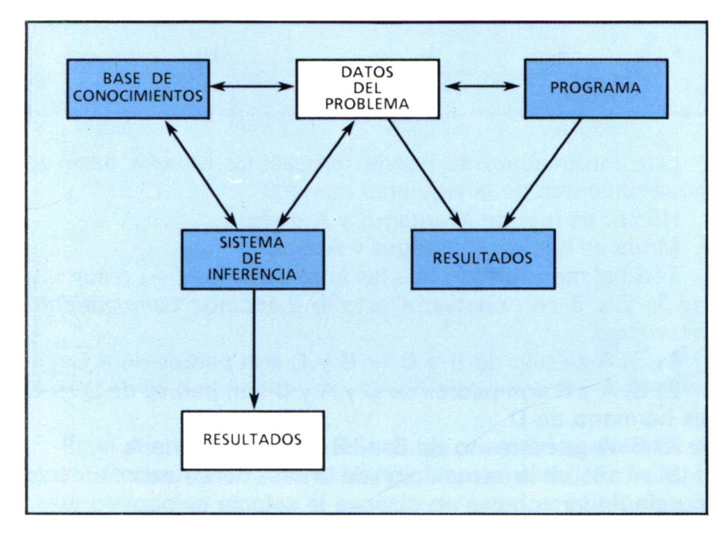


La ingeniería asistida por computador está revolucionando el campo del diseño y las operaciones de cálculo de los proyectistas. (Cortesía: Sanders Asc. Inc.).

Otro módulo integrante del sistema será el *sistema de inferencia*, que permite efectuar deducciones lógicas al procesar la base del conocimiento (o estructuras de datos). De esta forma, para que la base del conocimiento sea consistente e independiente del sistema de inferencia se precisa de un *intérprete* o conjunto de procesos del sistema, de modo que al procesar la base del conocimiento, ésta pueda ser transformada de manera consistente con su significado, para que sea posible efectuar, sobre la base del conocimiento, las inferencias y razonamientos necesarios.

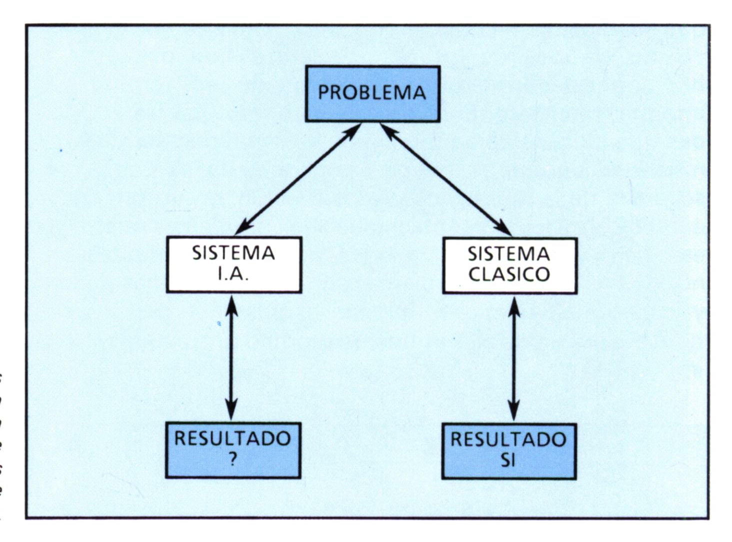
El nuevo sistema emplea sistemas de inferencia y *técnicas de búsqueda heurística* (sistemas de guiado para la resolución del problema). La principal diferencia entre la algorítmica y la heurística es que mientras la primera garantiza la solución del problema, la segunda es un conjunto de estrategias que permiten encontrar la solución del problema, pero no la garantizan. Por ejemplo, si se trata de resolver un sistema de ecuaciones lineales se seguirá un algoritmo, unos pasos determinados, y al final se encontrará la solución. Ahora bien, si se trata de explicar cómo se reconoce un objeto y qué mecanismos se ponen en funcionamiento para que sea posible reconocer el objeto, ya no es tan fácil.

Sólo algunos de los conocimientos que posee el ser humano pueden explicarse fácilmente en términos de informática clásica. El hecho de encontrar que las actividades que se consideran inteligentes no pueden ser descritas mediante algoritmos, marca el inicio de la IA como rama separada de la infomática y su evolución, en un principio y aún hoy, está íntimamente ligada a los problemas que se han estudiado y/o resuelto. Así, las técnicas que se emplean para resolver este tipo de problemas son de carácter más general, y cuando se dejó de intentar expresar el pensamiento humano mediante algoritmos, se produjo una evolución muy importante.



Entre un sistema clásico y otro de Inteligencia Artificial (IA), existen notables diferencias, que hacen que ésta sea mucho más versatil, flexible y potente.

Una gran ventaja de los sistemas de tratamiento de la información es que, cuando hay nueva información, ésta se añade a la base de conocimientos y todo sigue funcionando; en cambio, con los modelos algorítmicos había que rediseñar todo el algoritmo. Así pues, este nuevo sistema es más apto para añadir información deducida, principalmente del aprendizaje, con maestro o sin él a través de un proceso de análisis de la información disponible. Por ejemplo: «*Se sabe que la Sra. Arqués y el Sr. Montagut tienen dos hijos: Héctor y María.*»



Los sistemas clásicos garantizan la solución; la Inteligencia Artificial no la garantiza, pero resuelve problemas que los sistemas clásicos se muestran incapaces.

Esta información se puede representar en una base de conocimientos de la siguiente manera:

Héctor es hijo de Montagut y Arqués

María es hija de Montagut y Arqués

Todo el mundo sabe que las implicaciones (→) resultado de 1, 2 y 3 son ciertas; a esto le llamamos *conocimiento heurístico:*

1) Si A es hijo de B y C → B y C son padres de A

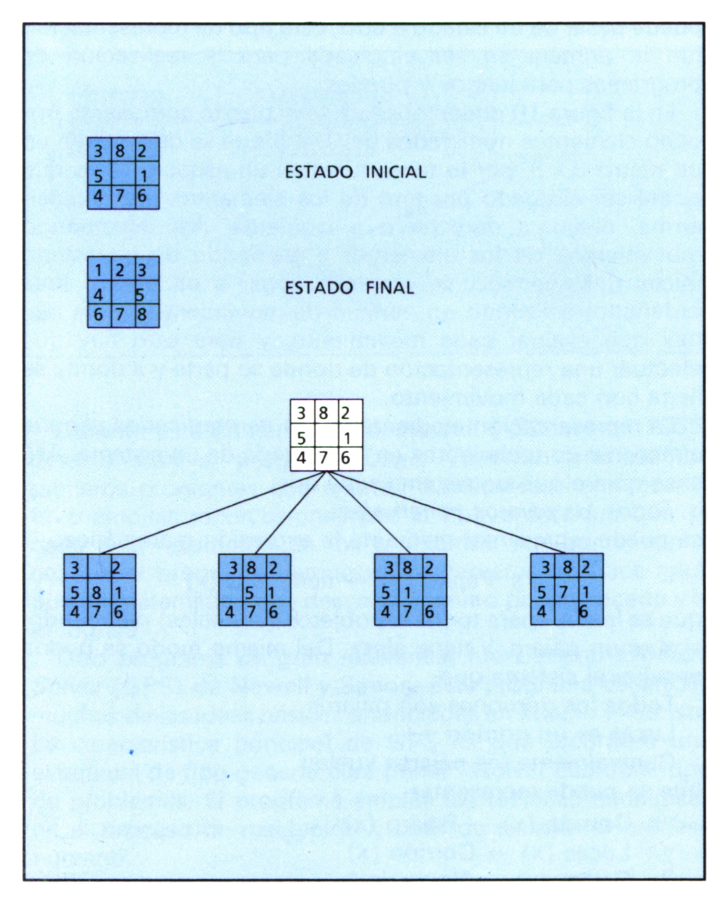
2) Si A y B son padres de C y A y B son padres de D → C es hermano de D.

3) Si A es hermano de B → B es hermano de A.

Si se analiza la información de la base del conocimiento se puede inferir:

Por 1. Montagut y Arqués son padres de Héctor
Por 1. Montagut y Arqués son padres de María
Por 2. Hector es hermano de María
Por 2. o 3. María es hermana de Héctor.

En la evolución de la IA se pueden distinguir tres períodos atendiendo a las técnicas utilizadas en la representación del conocimiento.



Ejemplo de representación mediante el espacio de estados. Desde una posición inicial se puede acceder a cuatro estados opcionales según el operador empleado.

En el primer período se definen los principios generales de los métodos para resolver los problemas de la IA. Durante este período se emplea el espacio de estados y la lógica de

predicados para efectuar la representación del conocimiento.

La representación mediante el espacio de estados emplea dos clases de elementos:

— *Los estados*

— *Los operadores*

Los estados permiten efectuar la representación del juego o puzzle en cada instante. Los operadores describen cómo se puede pasar de un estado a otro. Este tipo de representación fue la primera en ser empleada para la realización de programas para juegos y puzzles.

En la figura 10 puede observarse el puzzle compuesto por ocho elementos numerados del 1 al 8 que se distribuyen en un matriz 3×3, por lo tanto quedará un espacio vacío que podrá ser ocupado por uno de los elementos que queden arriba, abajo, a derecha o a izquierda. Así, efectuando movimientos de los elementos y partiendo de un estado inicial desordenado, se pretende llegar a un estado final ordenado realizando un mínimo de movimientos. Para ello hay que evaluar cada movimiento, y para esto hay que efectuar una representación de donde se parte y a donde se llega con cada movimiento.

La representación mediante *lógica de predicados* permite almacenar conocimientos en la memoria de un sistema. Así, si se quiere que un sistema sepa que:

Todos los pájaros tienen alas

se puede representar mediante la expresión matemática

$$\forall x.\ \text{Pájaro}\ (x) \rightarrow \text{tiene alas}\ (x)$$

que se leería: «para todos los objetos (animales) del mundo, si x es un pájaro, x tiene alas». Del mismo modo se podría enseñar el sistema que

Todos los gorriones son pájaros

Lucas es un gorrión

Generalmente los pájaros vuelan

que se puede representar

$\forall x.$ Gorrión $(x) \rightarrow$ Pájaro (x)

$\forall x.$ Lucas $(x) \rightarrow$ Gorrión (x)

$\exists x.$ Pájaro $(x) \rightarrow$ No vuela (x)

que se leería: «Para todos los objetos (animales) del mundo, si x es un gorrión, x es un pájaro». Y «Para todos los objetos (animales) del mundo, si x es Lucas, x es un gorrión», «Existen objetos (animales) en el mundo que son pájaros y

no vuelan». Aplicando reglas de inferencia se deduciría

$\forall$x. Lucas (x) → Pájaro (x)
$\forall$x. Lucas (x) → tiene alas (x)

La ventaja que ofrece esta representación es que hay desarrollada toda un álgebra de los predicados lógicos. Este tipo de representación fue muy utilizada en demostración de teoremas.

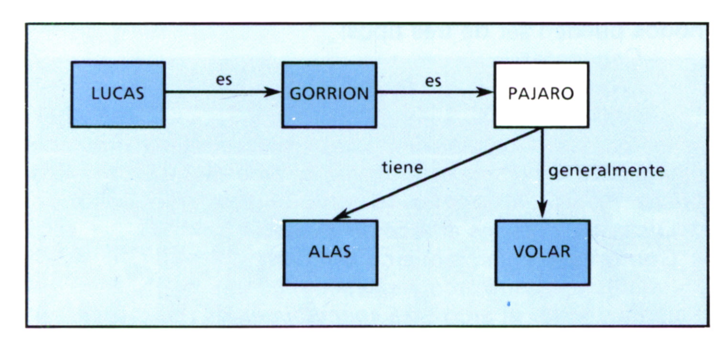


Figura 11. Ejemplo de representación mediante grafos de:
a) Lucas es un gorrión;
b) Los gorriones son pájaros;
c) Los pájaros tienen alas;
d) Existen pájaros que no vuelan.

Durante este primer período, Newell y Simon, en 1956, desarrollaron el programa *Logic Theorist*, uno de los primeros programas que empleó las técnicas heurísticas y tuvo amplias repercusiones por el nuevo enfoque que se daba a la resolución de los problemas. Así por ejemplo, cuando el programa demuestra un teorema, lo hace igual que un matemático que desconoce cómo puede hacerlo y si lo logrará.

Otro programa de gran relevancia fue *General Problem Solver* (GPS) de Newell y Simon. Este programa desarrolla muchas de las ideas básicas enunciadas en «Logic Theorist». La característica principal de GPS es que incorpora una estrategia de tipo general para poder resolver cualquier tipo de problemas. El programa emplea las técnicas heurísticas en el proceso de resolución y trata de simular el proceso humano.

Otros programas de esta época son:

1) Un programa para jugar a damas, dotado de capacidad de aprendizaje.
2) El primer programa para comprensión del *lenguaje natural.*

3) El primer programa para traducción automática de textos, que fracasó.

El segundo período se puede situar desde mediados de los 60 a principio de la década de los 70. En este período se emplean las redes semánticas para efectuar la representación del conocimiento.

Las redes semánticas, emplean grafos dirigidos para efectuar la representación del conocimiento, en las que los nodos y los arcos pueden ser etiquetados. Básicamente los nodos pueden ser de tres tipos:

— *Conceptos*
— *Eventos*
— *Características*

Así, si se trata de representar mediante redes semánticas el ejemplo de lógica de predicados, se precisará de los nodos: Lucas, Pájaros, Gorriones, Alas, Volar y los arcos serán:

Lucas y Gorriones el arco será «*es*».
Gorriones y Pájaros el arco será «*es*»
Pájaros y Alas el arco será «*tienen*»
Pájaros y Volar el arco será «*generalmente*»
esto dará como resultado el grafo completo de la figura 11.

Dentro de este período cabe destacar:

1) Los programas para la comprensión del lenguaje natural de Quillian y Hendrix.
2) El programa ANALOGY de Evans, que estaba preparado para resolver tests de inteligencia.

En este período aparece la técnica de los procedimientos; ésta consistía en representar los conocimientos de tal forma que cuando uno en particular era necesario, se ejecutaba el programa que lo representaba.

Mediante esta técnica se desarrolló SHRDLU que era capaz de conversar en inglés acerca de objetos geométricos. Este programa tuvo especial interés por la investigación que se desarrolló para la comprensión del lenguaje natural.

e) El SRI (Stanford Research Institute) desarrolla el robot móbil SHAKEY, que para su desplazamiento emplea un programa de IA para la generación automática de planes. Este es un ejemplo de la contribución de la IA a la robótica, que se ha aplicado a los campos de reconocimiento de formas, teoría de la decisión, comprensión del lenguaje natural y el ya nombrado de generación de planes.

Finalmente, también cabe destacar que en este período

aparecen los sistemas expertos. Estos sistemas, basándose en un sistema de reglas, toman decisiones de expertos en áreas muy especializadas. Algunos ejemplos son:

1) MACSYMA, de Martin y Fateman, fue puesto a punto en 1971 y es un experto en Matemáticas.
2) DENDRAL, de Buchannan, estuvo operativo en 1971, es un experto en Química con la ventaja de que puede realizar en unos minutos lo que a una persona especializada le costaría horas o días.



Al incorporar nuevos conocimientos a las bases de conocimientos muy grandes, se pueden enmascarar las estructuras de datos existentes, ya que un ordenador puede «olvidar». (Cortesía: IBM).

El hecho de emplear bases de conocimientos, que la representación de estos conocimientos es crítica y que los expertos para representar sus conocimientos en una base de conocimientos, precisan ayuda, da lugar a la aparición de la *ingeniería del conocimiento*. Los conocimientos pueden representarse en un ordenador de maneras diversas, y generalmente el hecho de elegir una forma determinada puede simplificar mucho la resolución de los problemas. Por esto en el momento de elegir el tipo de representación a utilizar hay que ver que cumpla las condiciones:

a) La representación debe ser fácil, natural y válida, que no dé lugar a ambigüedades.
b) Se debe poder añadir y eliminar conocimientos de la base sin que por ello se vea afectado el resto del sistema.

En el tercer período, el actual, se representa el conocimiento mediante unidades más amplias y mejor estructuradas, como son los *grafos* y los *frames*. Estos últimos se están consolidando como el sistema más empleado para la representación del conocimiento.

Un *frame* es una estructura de datos, en la que se incluye información acerca de un determinado concepto, suceso, etc. Un frame está constituido por un conjunto de *slots* que describen algunos aspectos del objeto. Los slots pueden ser referenciados por otros frames. Un slot puede ser definido por defecto.

Así, en el caso del ejemplo de lógica de predicados habría que definir:

Frame PÁJARO
  es: un animal
    partes: alas
  Características: por defecto, vuela, tiene plumas
  Clases: gorriones, avestruces, papagayos,....

Frame GORRIONES
  es: un pájaro
  Clases: Lucas.....
Frame LUCAS
  es: un gorrión
  dueño: no tiene

en el frame Gorriones, como no se especifica si vuela o no, se supone que vuela, del mismo modo, como no se dice nada de las plumas se supone que las tiene.

Durante este período aparecen los lenguajes para la programación interactiva, como son: UCI-LISP, MAC LISP, INTERLISP, que han sido el punto de partida para los lenguajes de la segunda generación como: PLANER, QAY, CONNIER, SAIL, QLISP, KRL y los lenguajes de «fuzzy sets» para la representación de la información imprecisa.

La Inteligencia Artificial se está consolidando por las múltiples aplicaciones a que está dando lugar el empleo de *sistemas expertos*, con capacidad de aprendizaje.

Hoy el problema básico y todavía no resuelto es el de la *representación del conocimiento*; tanto es así que se podría definir la IA como el estudio de las representaciones del conocimiento.

La elección de los atributos para efectuar de una manera determinada una representación, puede facilitar mucho las

operaciones posteriores de añadir dicha representación a una base de conocimientos, sin que quede afectada la estructura de la base de conocimientos.



Proyecto CAD realizado con la ayuda de un Sistema Experto que colabora con los diseñadores.

Se han diseñado varios tipos de estructuras de datos a fin de facilitar la representación de conocimientos, incorporación de bases de conocimientos, el almacenamiento en memoria (depende el tipo de memoria empleada) y procedimientos de inferencia.

Se debe recordar que los programas de la informática clásica procesaban datos; en cambio, los programas de la IA procesan conocimientos y datos de información. Los conocimientos que se deben incluir en las bases deben comprender información de varios tipos:
1) Conocimientos acerca de objetos.
2) Conocimientos del entorno.
3) Conocimientos acerca de los procesos.

El tratamiento de todos estos tipos de conocimiento, y de otros no enunciados, puede ayudar a la adquisición de nuevos conocimientos. Al ser incorporados estos nuevos conocimientos a la base, pueden enmascarar la estructura de datos existentes; por esto, el acceso a informaciones interrelacionadas puede ser problemático.

Los logros de la *Ingeniería del Conocimiento* son cruciales para el desarrollo de sistemas expertos de elevado nivel de sofisticación y otros tipos de aplicaciones de la IA. Por el momento, los progresos realizados han permitido nuevos enfoques en el tratamiento de conocimientos.



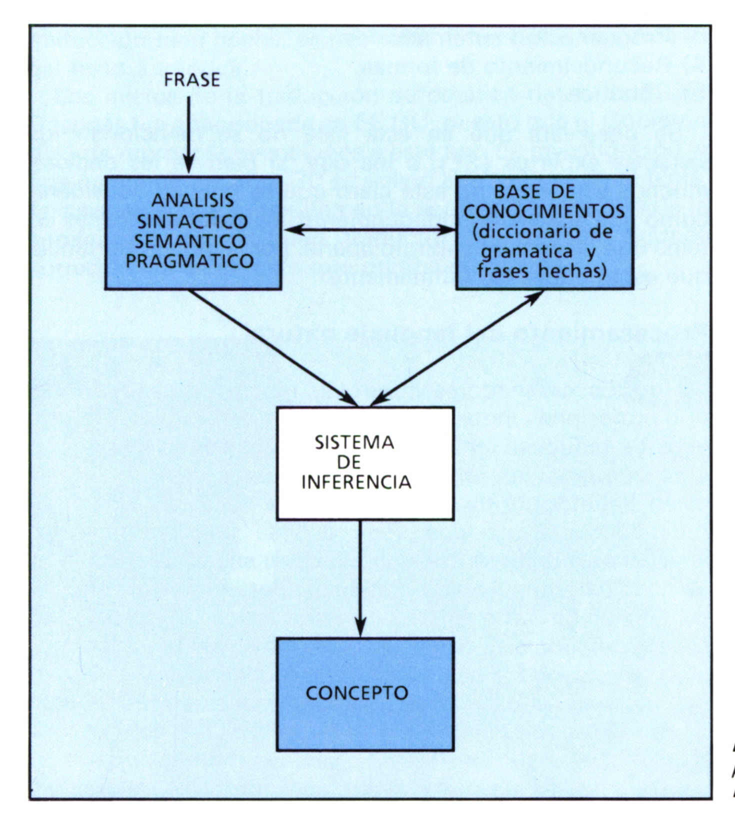
Los ordenadores actuales controlan muchas actividades de tipo profesional, industrial y social; en el futuro, este control aumentará.

La situación actual de la IA es que está evolucionando rápidamente, de forma que es posible llevar a cabo muchas de las aplicaciones que se pronosticaron en 1956. Las aplicaciones que más se están comercializando son las de los *sistemas expertos.* Paralelamente, los avances conseguidos en microelectrónica, en la que se están alcanzando altísimos niveles de integración a menos coste, están haciendo posible el desarrollo de sistemas de IA.

Los sistemas actuales son bastante restringidos en cuanto a su dominio de actuación, fuera del cual presentan numerosos fallos y deficiencias. Por este motivo, las aplicaciones de estos sistemas deben considerarse más dentro de un ámbito de instrumentos «inteligentes» de ayuda a las personas, que no como verdaderos de sistemas autónomos.

Las perspectivas futuras son excelentes, debido a las grandes inversiones que se están realizando en este campo. Así, el desarrollo de la microelectrónica favorecerá la aparición de herramientas inteligentes para ayudar a los profesionales. Los sistemas serán mucho más flexibles debido a la aparición de interfases hombre/máquinas inteligentes y se podrá emplear el lenguaje natural. Se prevé

que las ventas de sistemas de IA de 20 millones de dólares en 1984 pasen a 2.500 en 1.993; esto dará lugar a un gran incremento de la investigación.



Esquema de un sistema para reconocimiento del Lenguaje Natural.

El impacto más importante que puede tener lugar en el campo de la IA puede ser debido a la incorporación de la *capacidad de aprender* en las máquinas. Esto abriría nuevos caminos hacia nuevas aplicaciones

APLICACIONES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La mayoría de los grandes proyectos en los que se está empleando la IA abarcan muchas de las aplicaciones a las

que hoy los investigadores están dedicando sus esfuerzos; las principales son:

1) Procesamiento del lenguaje natural.
2) Recuperación inteligente de la información.
3) Programación automática.
4) Reconocimiento de formas.
5) Robótica.

Se observará que en esta lista no se mencionan los sistemas expertos (SE), a los que, si bien se les dedican muchos esfuerzos, no está claro que se puedan considerar como una aplicación independiente; de todos modos, es un tema que merece un capítulo aparte, por la gran importancia que están cobrando últimamente.

Procesamiento del lenguaje natural

Hoy los ordenadores controlan muchas actividades de tipo profesional, industrial y social. Este control, en el futuro, lejos de reducirse tenderá a aumentar de forma progresiva; para que esto sea posible, los fabricantes de ordenadores están tratando de flexibilizar la vía de comunicación entre ordenadores y usuarios. Para ello se precisan que dos aplicaciones de la IA consigan resolver sus problemas. Uno es la comprensión del lenguaje natural, y el otro la programación automática; de esta forma el usuario no deberá comunicarse con el ordenador a través de un teclado, sino que lo podrá hacer en su propio idioma, y tampoco deberá emplear los lenguajes informáticos que sólo admiten un conjunto pequeño de vocablos, sino que le será posible emplear su lengua sin restricciones de ningún tipo.

Sin embargo, hasta ahora los investigadores encuentran grandes dificultades a la hora de escribir programas que permitan a los ordenadores «comprender» el lenguaje natural.

Incluso los programas más sencillos ofrecen una enorme complejidad, y es que la comunicación a través del lenguaje natural, aparentemente tan fácil para el hombre, pone en juego una gran cantidad de procesos poco descifrados.

La IA trata de resolver el problema de la comprensión del lenguaje natural respondiendo a las preguntas:

a) ¿Qué procesos mentales se ponen en funcionamiento para entender el lenguaje hablado?

b) ¿Qué conocimientos son necesarios para poder entender el lenguaje hablado?

Los primeros intentos de comprensión del lenguaje natural se hicieron en el campo de la traducción automática, pero fracasaron debido a que para poder efectuar una traducción bien hecha, es necesario entender el significado del texto a traducir.

Los inicios de la traducción automática datan de 1930. Después fue abandonada en EE.UU. puesto que el Gobierno dejó de otorgar subvenciones a este tipo de investigación, y finalmente en los años 70 se volvió a investigar en el tema. Los sistemas que funcionan en la actualidad, precisan de la supervisión de un buen traductor que realice algunas correcciones en el texto que origina el sistema.



Este coche obedece las órdenes dadas por el conductor minusválido, en «Lenguaje Natural», aunque sólo entiende un vocabulario muy reducido.

Otro campo al que también se están dedicando esfuerzos es la producción de sistemas capaces de entender preguntas que se realizan a una base de datos mediante lenguaje natural. Estos sistemas trabajan con vocabularios reducidos y un tipo de estructura en las frases muy simples, pero son sistemas empleados fuera de los entornos de los laboratorios

y permiten al usuario acceder a la información almacenada en una base de datos en su propia lengua. En cierta forma se puede decir que el sistema «entiende» lo que se le pregunta.



El diseño de circuitos VLSI mediante equipos CAD va a jugar un papel muy importante en el desarrollo de los ordenadores de la 5.ª Generación.

La investigación en el campo de la comprensión del lenguaje natural se enfrenta con el grave problema de la comprensión de las metáforas, alusiones, etc., y en general de todos aquellos modismos, expresiones y giros, que enriquecen un idioma.

El carecer de un modelo sobre el funcionamiento de nuestras facultades en estos procesos, dificulta grandemente su implementación en un sistema. Por este motivo, las investigaciones actuales se relacionan cada vez más con la naturaleza del conocimiento.

Recuperación inteligente de la información

Los sistemas de la IA precisan cada vez de bases de datos mayores. La información almacenada en dichas bases de datos deberá ser procesada o recuperada a corto o largo plazo, pero deberá ser un proceso rápido debido a que si el ordenador debe actuar rápidamente no podría hacerlo de no recuperar dicha información en un tiempo muy corto.

Las características (rapidez, capacidad, etc.) de un sistema de memoria dependen de:

1) Sistemas de memoria activa o pasiva.
2) Diseño específico de las unidades de memoria.
3) Tipo de representación (codificación) de la información utilizada.
4) Camino de recuperación de la información.

Un sistema de memoria pasiva almacena la información en posiciones específicas a las que se puede tener acceso de modo directo o secuencial. Por ejemplo si se ha almacenado información en un disco magnético, se deberá ir leyendo todos los bloques de información, uno tras otro en modo secuencial, hasta encontrar la información deseada (*acceso secuencial*). De otro modo si el acceso fuese directo, se obtendría de modo indirecto (consultar a un fichero) la dirección del bloque en el que se encuentra la información a la que se desea acceder, y no haría falta examinar toda la información anterior al bloque indicado.

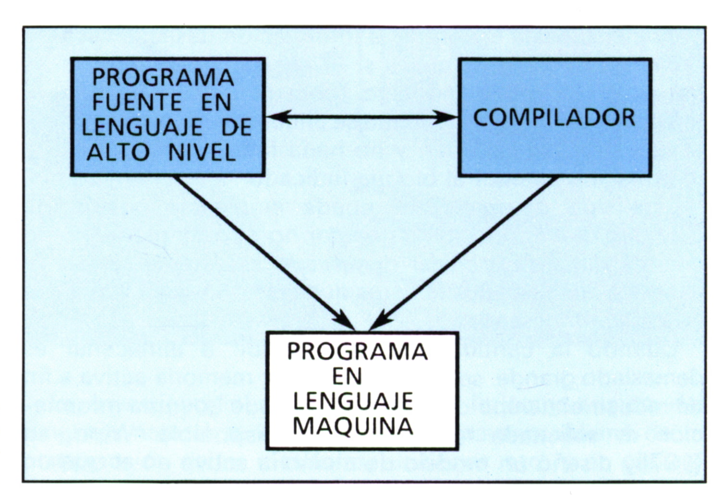
Este tipo de memorias puede emplearse cuando la cantidad de información a guardar no es muy grande, pero cuando empieza a crecer demasiado el sistema se vuelve lento: hay demasiados ficheros que consultar para llegar a la información deseada.

Cuando la cantidad de información a almacenar es demasiado grande, se necesita emplear memoria activa a fin de reducir el tiempo que transcurre desde que una información es solicitada hasta que está disponible. Winograd (1975) diseñó un modelo de memoria activa en el que un procesador central controlaba las células de memoria. Este tipo de memoria para recuperar la información almacenada se solicita al procesador central; éste, tras analizar el mensaje recibido, envía otro mensaje específico a las células de almacenamiento, las cuales envían la información solicitada.

En las memorias activas es muy importante el trabajo del procesador central, y es donde la IA tiene aplicación. Cabe

destacar un computador, el EPAM de Feigenbraum, que simula cómo se puede olvidar algo, debido a que ha quedado oculto o enmascarado al guardar nueva información en la memoria, sin que la primera información haya sido destruida; es decir, que el sistema puede «olvidar» y «recordar» después de un cierto tiempo. Esto ocurre con sistemas que han de almacenar grandes cantidades de información, como es el caso del ser humano.

En el diseño de bases de datos, se han desarrollado muchas técnicas para lograr la eficiente representación, almacenamiento y recuperación de grandes cantidades de información. Los sistemas de IA del futuro requieren el manejo de gran cantidad de ficheros que les permitan almacenar información de referencia para poder acceder a unas bases de datos mayores, a fin de llevar a cabo procesos de predicción o modelos a escala mundial. Por este motivo, es esencial disponer de sistemas de almacenamiento de datos que permitan la realización de dichas tareas.



En la figura se esquematiza la función de un compilador de un sistema informático.

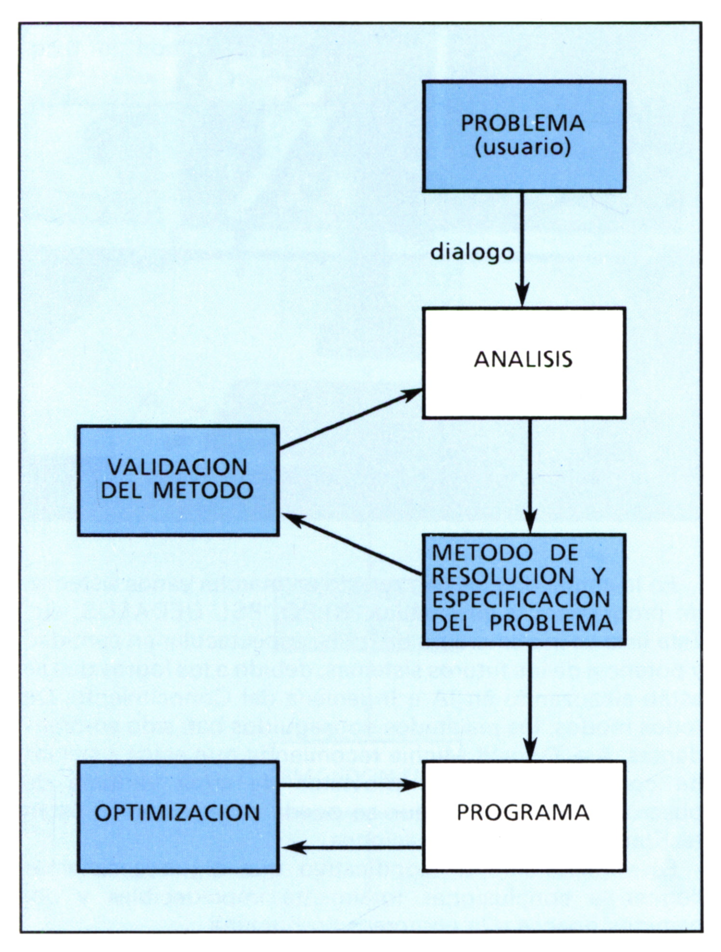
Programación automática

El objetivo de la programación automática es el desarrollo de un *supercompilador* que permita al usuario dar las especificaciones del problema en lenguaje natural y que

produzca un programa en lenguaje admisible por el ordenador.

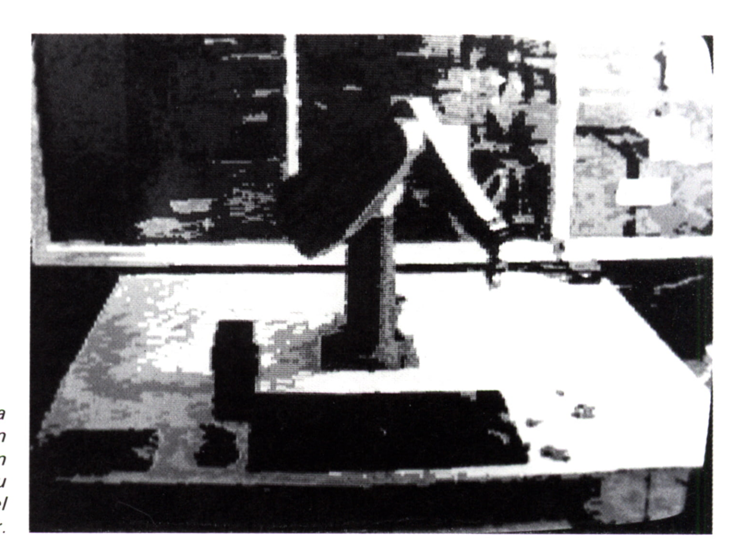
Los primeros intentos de programación automática se hicieron con los compiladores, que permitían al usuario dar las especificaciones del problema en un lenguaje de alto nivel y lo liberaban de la necesidad de hacerlo en código máquina.

Los compiladores actuales son unos traductores que precisan que las especificaciones del problema sean descri-



Esquema general de un sistema de Inteligencia Artificial para la generación de un programa, partiendo de las especificaciones del problema.

tas en un lenguaje muy rígido, y con mucha frecuencia se queja de que no entiende lo que se le dice por falta de una coma, un punto, un paréntesis no cerrado, etc. Por tanto, el primer objetivo de la programación automática es dotar a estos programas de una cierta capacidad de «raciocinio» que libere al usuario de esta rigidez, y en una segunda etapa aumentar esta capacidad, de forma que el usuario pueda realizar programas que hoy son imposibles por su extensión o por su coste.



Una imagen como la de la figura, genera una gran cantidad de información (256 Kbytes) para su representación en el ordenador.

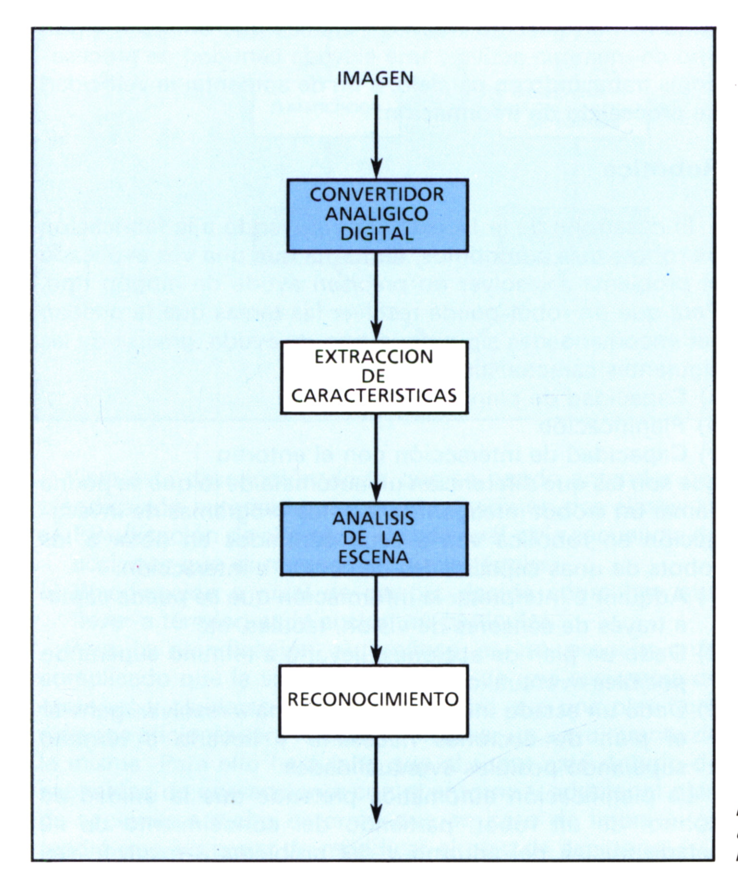
En la actualidad, se han puesto en marcha varios sistemas de programación automática: NLPQ, PSI, DEDALUS, etc. Esta lista se incrementará de forma espectacular en cantidad y potencia de los futuros sistemas, debido a los logros que se están alcanzando en IA e Ingeniería del Conocimiento. De todos modos, los resultados conseguidos han sido sorprendentes. Así, Donald Michie recomienda que estos sistemas de computación vayan provistos de «una ventana de observación» de modo que se pueda saber cómo se están realizando las implementaciones.

Es verdaderamente significativo que algunos sistemas lleguen a conclusiones totalmente impredecibles y por caminos opacos a la comprensión humana.

Reconocimento de formas

El reconocimiento de formas es un tema de gran importancia para flexibilizar la comunicación entre usuario y ordenador; por este motivo la IA se ha ocupado del problema de la percepción tanto visual como auditiva.

La capacidad del hombre para reconocer formas y modelos abstractos es muy amplia. Para un ordenador, reconocer determinadas formas que estén claramente definidas, en una determinada posición y en un contexto específico, es muy difícil; tanto o más de lo que pueda ser para el hombre. Pero para que un ordenador pueda



Esquema de bloques de un sistema de reconocimiento de formas.

reconocer un objeto hay que poner muchas restricciones, trabajar con un universo reducido de objetos, y aun así suele tardar mucho tiempo; esto es debido a que la capacidad de reconocer está implementada en los ordenadores a un nivel muy sencillo. La Ingeniería del Conocimiento deberá encargarse de encontrar una solución a este problema en los años futuros.

A partir de las experiencias realizadas, se ha comprobado la gran cantidad de información de entrada que proporcionan la voz y las imágenes. Para el tratamiento de dicha información se requieren procesadores muy rápidos y una base de conocimientos muy grande, lo que con los modelos actuales resulta imposible; por este motivo, muchos investigadores han descrito nuevos sistemas que emplean algún tipo de memoria activa y una elevada cantidad de procesadores trabajando en paralelo, a fin de aumentar la velocidad de procesado de información.

Robótica

El desarrollo de la IA está contribuyendo a la fabricación de robots más autónomos, de forma que una vez explicado el problema a resolver no precisan ayuda de ningún tipo. Para que un robot pueda resolver las tareas que le puedan ser encomendadas sin ningún tipo de ayuda, precisa de las siguientes características básicas:

a) Capacidad de planificación
b) Planificación
c) Capacidad de interacción con el entorno

que son las que diferencian un autómata de lo que se podría llamar un «robot inteligente». Así, los programas de investigación en robótica van a estar centrados en dotar a los robots de unas capacidades de acción e interacción:

1) Adquirir e interpretar la información que se pueda captar a través de sensores de visión, táctiles, etc.
2) Dado un plan de acciones, llevarlo a término superando posibles eventualidades.
3) Dado un estado inicial y un problema a resolver, generar el plan de acciones necesario y llevarlo a término superando posibles eventualidades.

La planificación automática pretende que la unidad de control de un robot, partiendo del conocimiento de su estado inicial, del entorno y del problema a resolver, sea

capaz de elaborar una secuencia de acciones y el modo de efectuar dichas acciones, de manera que le permita llevar a cabo su trabajo.

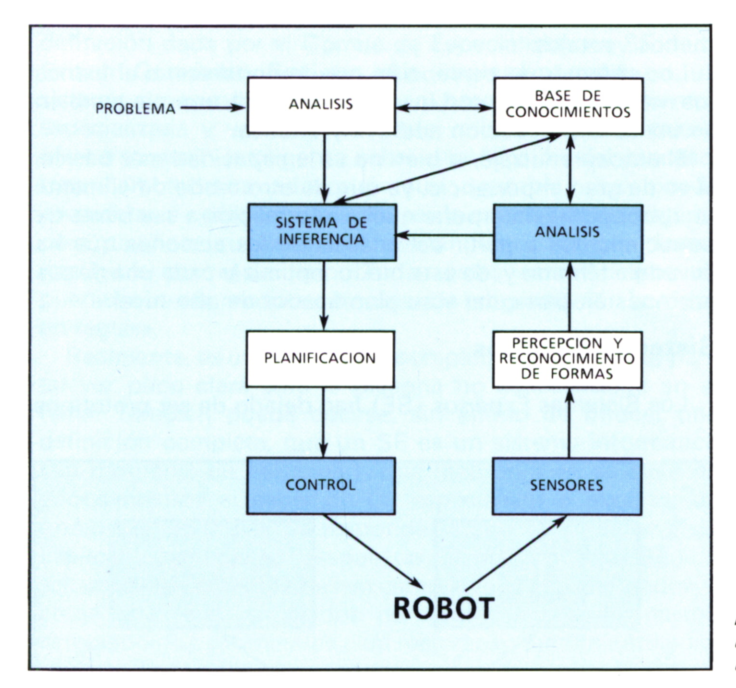


Diagrama de bloques de un sistema de control de un robot «inteligente».

Vista esta descripción de lo que se puede entender por planificación automática, se puede dividir en dos clases:

a) Planificación de alto nivel; decide cuál es la secuencia de acciones que es necesario llevar a término.

b) Planificación a nivel de acción; decide cómo hay que llevar a término cada acción en particular.

Pero la planificación automática es un proceso más complicado que la simple generación de una secuencia de acciones y olvidarse del problema: para que una planificación sea eficiente será necesario efectuar un seguimiento de la misma. Para ello hará falta que el robot esté dotado de capacidad de interaccionar con el entorno y adaptar el plan de acciones a dicho entorno, que en caso de imprevistos tendrá que ser capaz de modificar el plan de acciones.

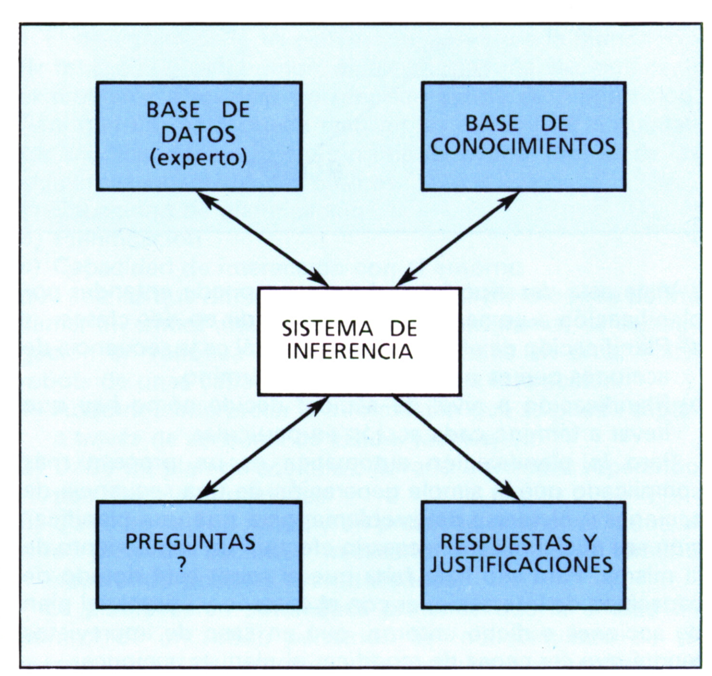
La capacidad de adquirir información a través de unos sensores y del entorno, y de procesar dicha información a fin de producir una descripción útil del mencionado entorno, es esencial para conseguir que el robot se pueda adaptar a éste y no al revés, lo cual es mucho más costoso y presenta menos ventajas.

Los sistemas de percepción más importantes, o al menos los más empleados, son la visión y el táctil, aunque también se utiliza la percepción auditiva y olfativa.

El autoaprendizaje, si bien no es la capacidad más básica, sí es de gran importancia, ya que de otro modo difícilmente un robot podrá incorporar nueva información a sus bases de conocimientos a partir del análisis de las acciones que ha llevado a término y, de este modo, optimizar cada una de sus acciones en particular y su planificador de alto nivel.

Sistemas Expertos

Los Sistemas Expertos (SE) han dejado de ser prototipos



Principio de funcionamiento de un sistema experto, capaz de responder a las cuestiones planteadas por el usuario.

de demostración para ser comercializados y han dado lugar a la aparición de numerosas empresas de Inteligencia Artificial.

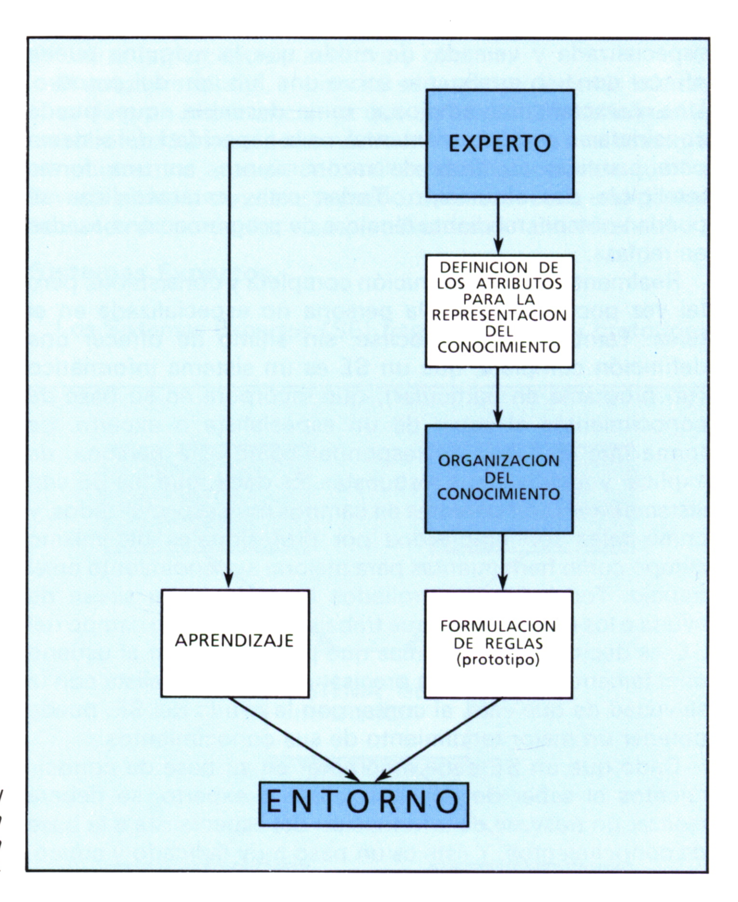
Dar una definición de lo que es un SE puede ser complicado y poco esclarecedor. Por ejemplo, si se toma la definición dada por el Comité de Especialistas en SE de la British Computer Society: «La implementación en un sistema de computación de una base de conocimientos especializada y versada, de modo que la máquina puede ofrecer consejo inteligente sobre una función del proceso. Una característica adicional muy deseable, que puede considerarse como fundamental, es la capacidad del sistema para justificar su línea de razonamiento, en una forma inteligible por el usuario. Todas estas características se pueden obtener mediante técnicas de programación basadas en reglas».

Realmente, es una definición completa y consistente, pero tal vez poco clara para la persona no especializada en el tema. También puede decirse, sin ánimo de ofrecer una definición completa, que un SE es un sistema informático (un programa en particular), que incorpora en su base de conocimientos el saber de un especialista o experto, de forma que es capaz de responder como esta persona, de explicar y justificar sus respuestas. Es decir, que los SE son sistemas muy competentes en campos muy especializados, y como tales son empleados por profesionales del mismo campo como herramientas para mejorar su rendimiento en el trabajo. Todos los desarrollados hasta la fecha sirven de ayuda a los especialistas que trabajan en el mismo campo del SE, es decir, no son sistemas que puedan ayudar al usuario directamente; se continúa precisando del especialista con la salvedad de que éste, al contar con la ayuda del SE, puede obtener un mejor rendimiento de sus conocimientos.

Dado que un SE debe incorporar en su base de conocimientos el saber de un especialista o experto, se deberá realizar un trasvase de información del especialista a la base de conocimientos. Y éste es un paso muy delicado y crítico. Una cosa es conocer a fondo un tema determinado, y otra cosa muy distinta ser capaz de estructurar dichos conocimientos en proposiciones coherentes, utilizables por un sistema de computación.

También se debe tener en cuenta que un experto puede ser muy competente debido a su aptitud para buscar

información y para resolver problemas empleando lógicas no estandarizadadas, las cuales le permiten una flexibilidad que hoy es todavía imposible de conseguir en sistemas artificiales. Por esto es imprescindible la colaboración de un ingeniero del conocimiento cuando se efectúa la incorporación del saber a la base de conocimientos.



Representación del proceso que se sigue en el diseño de un Sistema Experto.

Un sistema experto está compuesto por dos elementos fundamentales:

1) *Base del conocimiento.* Este elemento contiene la representación de las afirmaciones o formas de actuación

que componen el conocimiento de la aplicación.

2) *Motor inferencial.* Es el elemento que, partiendo de unas hipótesis de hechos primarios y apoyándose en los datos contenidos en la base del conocimiento, trata de encontrar respuestas a distintas preguntas o problemas.

De todos estos elementos el que definirá la potencia de un SE será la base de conocimientos, y cuanto más amplia sea, mejor será el SE; es decir, la potencia del SE se valora por la cantidad de sus conocimientos y no por su capacidad de razonamiento.

Los SE se diferencian de los sistemas tradicionales en que en estos últimos los mecanismos de inferencia, resolución de problemas y la base de conocimientos, aparecen integrados en uno solo. La ventaja de esta separación estriba en que por una parte se dispone del elemento declarativo, modificable con el tiempo de manera sencilla a partir de la experiencia obtenida en su empleo. Por otra, el elemento algorítmico, que puede optimizarse desde el punto de vista del procedimiento de la máquina en la que se encuentra implementado.

Como se ha indicado anteriormente, la base del conocimiento es el elemento más importante de los SE, y por lo tanto la manera de representar el conocimiento en la base será fundamental en el buen funcionamiento del sistema. En la actualidad existen varias formas de representar el conocimiento:

1) Lógica de predicados de primer orden.
2) Redes semánticas y formas que ofrecen grados de relaciones entre conceptos y procedimientos sobre los que se definen métodos ad-hoc, de inferencia y resolución de problemas.

Los SE que están actualmente en funcionamiento se basan en la acumulación de conocimientos; estos conocimientos se representan en forma de reglas. La metodología de construcción de los SE es muy primaria, debido a que hace muy pocos años que han aparecido.

En la etapa inicial participan un ingeniero del conocimiento y un experto en el tema. En esta primera etapa se desarrolla un vocabulario común a ambos. El experto aporta sus conocimientos, y el ingeniero realiza el análisis y la representación en la base del conocimiento.

En una segunda etapa se implementa un prototipo para efectuar una valoración del sistema.

Finalmente, se trata de efectuar una verificación y mejora

del sistema aprovechando el autoaprendizaje y añadiendo nuevos conocimientos al sistema hasta que éste alcance un nivel aceptable.

Esta última etapa no finaliza nunca, ya que estos sistemas pueden modificar sus respuestas en base a los conocimientos que van adquiriendo, de esta manera son capaces de rectificar errores de su pasado. El SE, para responder a las preguntas que se le efectúan, consulta la información de su base de conocimientos así como la nueva información que le ha sido incorporada, o también puede elaborar su respuesta de un modo indirecto consultando los resultados de las inferencias anteriores. El *motor de inferencias,* además de actuar sobre la base de conocimientos, gestiona la adquisición de nuevos conocimientos y la posterior actualización de la base de conocimientos.

El tratamiento de las reglas que componen la base de conocimientos se puede hacer de diversos modos, los más empleados son los que se utilizan en las cuatro áreas principales que se están investigando en el contexto de la representación del conocimiento:

1) Técnicas para el modelado y representación de conocimientos.
2) Técnicas para conseguir que los ordenadores «piensen» en lenguaje natural.
3) Técnicas de deducción, resolución de problemas, razonamiento en base al sentido común, etc.
4) Estrategias basadas en procedimientos heurísticos que permiten reducir rápidamente el número de posibles soluciones a un problema.

Estas técnicas del tratamiento de reglas están lejos de conseguir un alto rendimiento. Es de esperar que durante la próxima década, los logros en la Ingeniería del Conocimiento puedan colaborar especialmente en el tema de la incorporación de información del experto a la base del conocimiento. Algunos programas de este tipo ya están en funcionamiento, así por ejemplo MYCIN es un sistema experto en diagnósticos de enfermedades infecciosas y en tratamientos de las mismas. En cambio TEIRESIAS es un sistema experto que completa a MYCIN, recopila reglas de los conocimientos del epecialista médico, verifica la congruencia de las reglas y sigue la línea de razonamiento para detectar las reglas que resultan inadecuadas o inapropiadas para de este modo, poder añadir nuevas reglas de diagnósti-

co a la base de conocimientos de MYCIN.

Los SE se están aplicando en la actualidad en casi todos los campos del saber como puedan ser: medicina, química, física, agricultura, geología, CAD, etc.

En 1984 Seyden contabilizó 138 proyectos del SE entre los que se estaban realizando o los que estaban en funcionamiento; los SE tienen actualmente una difusión importante. DENDRAL es un experto en estructura molecular de los compuestos químicos, y ha tardado 15 años en alcanzar un nivel que le permitiera ser operativo.

El futuro de los SE es muy esperanzador, debido a la gran cantidad de dinero que se está dedicando a su investigación y al importante papel que juegan en proyectos tan importantes como son la Quinta Generación de computadores y el



Los Sistemas Expertos son de una valiosa ayuda para la consulta de información sobre fármacos.

proyecto ESPRIT, además de otros proyectos del Departamento de Defensa Norteamericano.

Los principales sistemas expertos que están en funcionamiento en la actualidad son:

Medicina

MYCIN: es un experto en enfermedades infecciosas y su tratamiento.

CASNET: es un experto en diagnosis sobre el glaucoma y el tratamiento más adecuado según rl proceso en que se encuentra la enfermedad.

INTERNIST: es un experto en medicina interna.

PIP: se encuentra en fase de desarrollo y será un experto en enfermedades hepáticas.

PUFF: es un programa para el estudio de la función pulmonar.

HODGKINS: es un experto para planificar el tratamiento de la enfermedad de Hodgkins.

HEADMED: es un consultor de psicofármacos.

VM: es un supervisor de Unidad de Cuidados Intensivos.

ONCOCIN: es un programa para supervisar el tratamiento de pacientes cancerosos deshauciados que siguen un tratamiento experimental.

Química

DENDRAL: es un experto en identificar las estructuras moleculares a partir del espectrograma de la molécula que se está investigando.

CONGEN: es un experto como DENDRAL, pero no tiene las limitaciones de éste.

META-DENDRAL: es un experto en inferir las reglas de las espectrografías de masas en base a estructuras ya conocidas.

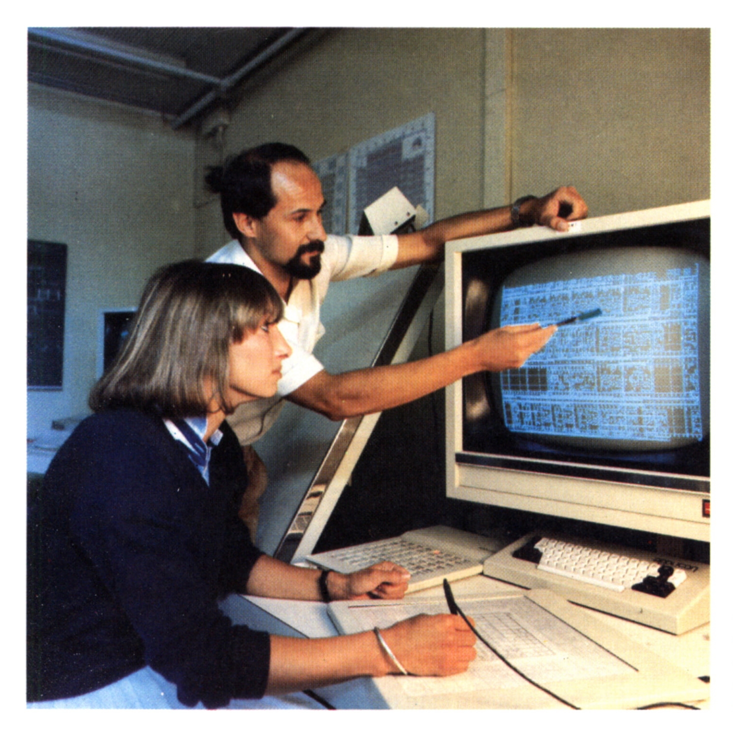
CRYSALIS: estudia la estructura cristaloquímica de las proteínas.

Matemáticas

MACSYMA: es un programa que sirve de herramienta a matemáticos, científicos e ingenieros para resolver problemas matemáticos.

Geología

PROSPECTOR: es un experto en prospección de minerales en roca dura. En 1982 se le suministraron a este sistema los datos geológicos de una región de EUA, PROSPECTOR llegó a la conclusión de que había importantes yacimientos de Molibdeno, los geólogos opinaban lo contrario. En las perforaciones se encontró un importantísimo yacimiento de Molibdeno.



La interacción entre el computador y los lápices ópticos, permite reseguir figuras complejas y corregir posibles defectos.

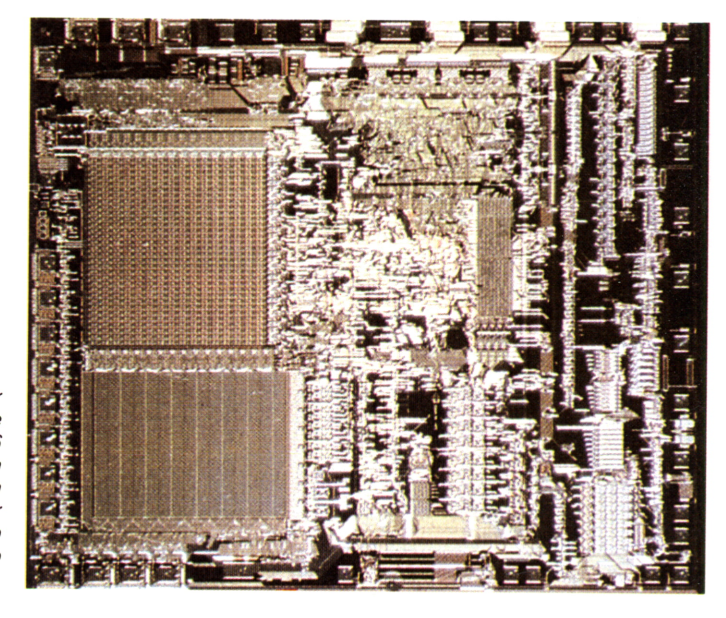
Educación

SCHOLAR: es un tutor en geografía
SOPHIE: es un tutor en localización de averías en equipos electrónicos.
EXCHEK: es un tutor en lógica y teoría de conjuntos.

Otras aplicaciones

HEARSAY: es un intérprete del lenguaje natural.

Los SE han supuesto una evolución en el mundo del saber. Antes los conocimientos se guardaban en libros, que son elementos pasivos, especialmente a la hora de localizar una determinada información. Hoy, los conocimientos se pueden guardar en SE que permiten localizar una información determinada simplemente preguntando al sistema. Esta será una de las principales aplicaciones de los SE: búsqueda en grandes archivos de conocimientos.



El chip microprocesador de 8 bits de la figura tiene unas dimensiones de 5 × 6 mm, y posee una potencia de cálculo superior a la del primer ordenador electrónico desarrollado en 1.946 (ENIAC), cuyo peso era de 30.000 kg.

El problema es que a este tipo de archivos de conocimientos se debería poder acceder en lenguaje natural y, puesto que cuando las palabras se combinan en frases surgen matices muy difíciles de expresar en álgebra booleana o en cualquier tipo de lógica formal, la recuperación de información resulta difícil, y es uno de los problemas a resolver en el desarrollo de los SE y otros sistemas de búsqueda y recuperación de información.

EL PROYECTO DE LA 5.ª GENERACION

Cuando en octubre de 1981 Tohru Moto-Oka dijo: «Hasta ahora, se ha seguido básicamente la dirección señalada por otros países en tecnología informática, pero ha llegado la hora de romper con esta tradición y de centrar nuestros esfuerzos en el desarrollo de una nueva tecnología informática basada en nuestras propias concepciones», en la Conferencia de presentación del programa de los Computadores de la 5.ª Generación (5.ª G), sus palabras fueron tomadas por muy pocos en serio; era la primera vez que los japoneses se atrevían a efectuar un desafío en un proyecto de tales proporciones a 10 años vista, a la poderosa industria informática americana (como dato de referencia puede servir que el presupuesto de investigación para el proyecto de la 5.ªG para el período 1982-1984 fue de 78.750 millones de pesetas, un tercio del presupuesto anual de IBM para investigación) muchos integrantes de la cual no mandaron observadores a la Conferencia. Sin embargo, cuando en 1984 se presentaron los primeros resultados el escepticismo inicial se convirtió en respeto. Y es que Tohru Moto-Oka no hacía otra cosa que dar un paso más en el camino de la evolución.

Cuando en 1956 nació la IA todo eran incógnitas, pero pronto se pudo constatar que los lenguajes de programación existentes no eran los más adecuados para la realización de programas de IA. A lo largo de la década de los 60, la investigación continuó y dio lugar al primer lenguaje de programación específico para IA, el LISP de John McCarthy. Este lenguaje pone de manifiesto que las arquitecturas Von Neuman no son las más adecuadas para los sistemas de IA.

En la década de los 70 la investigación continuó en temas como: sistemas expertos, interfases inteligentes, arquitecturas no convencionales, etc., la comercialización de los sistemas expertos y la investigación cada vez más generalizada en sistemas de IA hace necesaria la aparición de computadores con las características adecuadas para procesar los programas de IA.

Pero no es hasta 1979 cuando los japoneses iniciaron una investigación preliminar, encargada por el Ministerio de Industria y Comercio Internacional (MITI) del Japón, que dos años más tarde daría como fruto las características de los

Computadores de la 5.ªG. Así, en un informe publicado en 1981 por el Centro para el Desarrollo del Proceso de la Información del Japón (JIPDEC) como resultado de los dos años de investigación, se enumeran las cuatro características principales que deberán reunir los ordenadores de la siguiente generación.

Japón es un país que sólo produce el 1 % del petróleo que consume, un 15 % de la energía que consume y que debe importar: petróleo, productos alimenticios y materias primas, dando como resultado una balanza comercial muy desfavorable, y por tanto pone de manifiesto la gran necesidad que tiene este país de exportar productos manufacturados, como los paquetes informáticos de aplicación; pero dado lo saturado que está el mercado de este tipo de productos hacía falta un enfoque nuevo que abriera caminos a la salida de nuevos productos. Esto podía ser el desarrollo de una nueva generación de ordenadores que proporcionasen grandes ventajas al usuario. Dadas estas características no es extraño que haya sido Japón el país impulsor del proyecto de la 5.ªG, un país en el que las inversiones en alta tecnología están repartidas en muchos programas, debido a la necesidad que tiene el país de exportar productos con un alto valor añadido a fin de sobrevivir y pagar la factura de las importaciones.

Estos datos justifican porqué Japón tenía esta necesidad, pero no cómo ha podido hacerlo, ya que para ello se precisa una estructura que permita desarrollar programas a largo plazo. Tal como indicó Eri Nemoto en su conferencia «Papel del estado en la economía japonesa. Estructura y funcionamiento de la industria», el Japón, S.A., tal como denominan los americanos a Japón, es un país que se mueve bajo la dirección del MITI y todas las empresas cooperan para la consecución de un objetivo, como si todo el Estado fuera una única empresa. Este hecho ya se pudo comprobar cuando en 1951 se promulgó el plan de desarrollo para el sector del automóvil, que, al igual que todos los que se desarrollan en Japón, conoció la luz pública después de que las empresas más influyentes de este sector llegasen a un consenso. El resultado del Plan para el sector del automóvil de 1951 es bien conocido y ya se vislumbran los frutos que puede dar en años venideros.

Para poder hablar de la 5.ªG de ordenadores será necesario conocer las características de cada una de las generaciones anteriores y analizar sus diferencias.



El procesado de imágenes requiere el tratamiento de una gran cantidad de información a gran velocidad; una tarea reservada a los ordenadores de la 5.ª Generación. (Cortesía: Kodak).

Durante la Primera Generación, los ordenadores se construyeron a base de válvulas de emisión termoiónica. Los sistemas eran incómodos y de escasa fiabilidad. Pertenecen a esta generación el primer ordenador electrónico el ENIAC (1946), desarrollado por John Mauchly y J. Presper Kert y el EDVAC (1947) desarrollado por John Von Neuman.

Los ordenadores de la Segunda Generación se realizaron con transistores (estado sólido). Pertenecen a esta generación el NCR 304 (1957).

Los ordenadores de la Tercera Generación emplearon circuitos integrados de baja y media escala de integración. Estos ordenadores ya empleaban lenguajes de programación como COBOL, FORTRAN. Pertenecen a esta generación IBM 360, ICL 1900, etc.



Algo tan complejo como el diseño de circuitos impresos multicapa resulta enormemente simplificado empleando un sistema CAD. (Cortesía: Scitex).

Los ordenadores de la Cuarta Generación emplean circuitos integrados de alta escala de integración. En esta generación se han introducido modificaciones en las arquitecturas de los ordenadores y en los lenguajes de programación, tratando de hacer una aproximación al *procesado en paralelo*. A esta generación pertenecen el Cray, el Ciba 205, entre otros.

En estas cuatro generaciones de ordenadores, realizadas

con arquitectura Von Neuman, se ha evolucionado notablemente, así:

1) El ENIAC podía realizar 5.000 sumas por segundo; el CRAY, con 16 procesadores en paralelo, puede procesar millones de instrucciones por segundo.
2) El ENIAC pesaba 30 toneladas y necesitaba una sala de 18 metros por 8 de ancho. En 1971 se podía desarrollar un ordenador de mayor capacidad del tamaño de una cabeza de alfiler.

El ordenador de la Quinta Generación

En el informe que presentó en 1981 el JIPDEC se enumeraban las cuatro características principales que deberían reunir los ordenadores de la siguiente generación:

1) Tendrán una gran diversidad de funciones computerizadas, niveles y tipos de computación. Procesadores para tratamiento a muy alta velocidad, para funciones y aplicaciones muy especiales.
2) Se abandonará la tendencia actual de máquina de uso general y aparecerán más máquinas para aplicaciones especiales.
3) Se abandonarán las arquitecturas tipo Von Neuman de los computadores actuales y se tenderá a arquitecturas que incrementen el procesado en paralelo.
4) Las nuevas arquitecturas estarán constituidas por varios procesadores y la mayor parte de los elementos integrantes de los sistemas serán de tipo modular e integrados en circuitos VLSI.

Del informe se desprende que se va a iniciar una nueva era en tecnología y arquitectura de computadores, ya que las restricciones que presentan los computadores actuales son cada vez más evidentes. Los ordenadores de la 5.ª G serán ordenadores muy fáciles de manejar por parte del usuario, y en general sus características dependerán de los trabajos o problemas que deban resolver, es decir que no están claramente definidos. Hasta ahora la 5.ªG es sólo un proyecto que trata de estructurar un amplio espectro de programas de investigación en una línea determinada, que supone un distanciamiento de los actuales ordenadores.

Se han realizado varios intentos para describir las características de los computadores de la 5.ªG partiendo del informe presentado por el JIPDEC; una de las más sobresa-

lientes es la de Marsh, que lo único que afirma es que tal proyecto supone un avance en tres áreas fundamentales:

1) Para la producción de un ordenador de la 5.ªG deberán lograrse grandes avances en la fabricación de circuitos integrados, de manera que aumente la escala de integración (VLSI).
2) Los métodos de tratamientos de datos, cambiarán radicalmente, y serán mucho más parecidos a los esquemas del pensamiento humano. Los ordenadores dejarán de ser procesadores de datos para convertirse en procesadores de información.
3) Las técnicas de diseño de los sistemas de memoria deberán modificarse sustancialmente a fin de que puedan almacenar una cantidad mucho mayor de información, sin que ello repercuta en un mayor tiempo de acceso a dicha información.

Las características principales de la 5.ª Generación son:

a) Resolución de problemas y desarrollo de inferencias.
b) Gestión de la base de conocimientos.
c) Interfase inteligente.

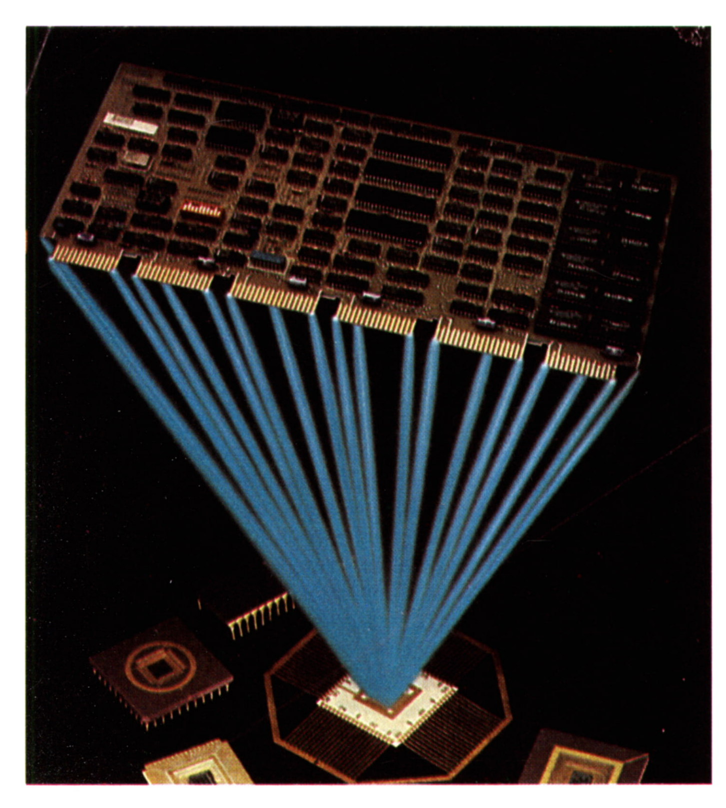
Así por ejemplo, un ordenador de la 5.ªG podrá implementar un sistema de diagnóstico médico, que lo realizará de modo similar a como lo haría un médico. Para ello será preciso que el sistema sea capaz de realizar inferencias tal como las haría el especialista; por tanto, ha de ser capaz de hacer deducciones, inducciones, inferencias analógicas e inferencias tácitas. Para realizar estas acciones, el sistema deberá ser capaz de comunicarse con el paciente y de consultar con una amplia base de conocimientos; esta base de conocimientos deberá estar estructurada de forma que permita al sistema una capacidad de aprendizaje.

Este aprendizaje se podrá realizar, básicamente por dos caminos; uno por adquisición de información suministrada por un experto, y otra por la información inducida de los casos que está tratando, para lo cual deberá tener un interfase que, mediante sensores visuales y de otros tipos, le permita detectar los cambios a su alrededor.

Reacciones al Proyecto de la Quinta Generación

Como dijimos en la Conferencia celebrada en 1981 para la presentación del Proyecto de la 5.ªG pocos se tomaron en serio las palabras de Tohru Moto-Oka, y menos las grandes

compañías de informática americanas, algunas de las cuales ni siquiera enviaron representantes a la Conferencia. En la Conferencia de 1984, en la que se presentaron los primeros resultados, pudo observarse que el interés había crecido notablemente; se invitó a 600 investigadores de todo el mundo, aunque el número de asistentes fue el doble, de los cuales la mitad no fueron japoneses.



Los diseños de circuitos VLSI mediante CAD, permiten integrar cada vez un número mayor de transistores en un solo chip.

El poco interés despertado inicialmente por el Proyecto se debía a lo ambicioso del mismo, y a los pocos recursos económicos que se iban a destinar para llevarlo a término. Así se contemplaba un presupuesto del orden de mil millones de dólares en 10 años, presupuesto muy pobre, si se compara con los mil millones de dólares anuales que

gastan Fujitsu, NEC o Hitachi o los tres mil que gasta IBM.

En los distintos países industrializados ha habido una serie de respuestas al proyecto japonés de la 5.ªG. Veamos los más importantes:

Estados Unidos

Se creó el consorcio Microelectronics and Computer Technology Corporation, con un presupuesto inicial de cien millones de dólares anuales, que se vio reducido ostensiblemente al abandonar el consorcio empresas tan importantes como IBM, Xerox, Hewlett Packard e Intel. IBM no ha hecho grandes inestigaciones en IA y sigue sin hacerlas, debido a la política de no asustar a los clientes con grandes ordenadores capaces de «pensar».

Gran Bretaña

Se designó un comité presidido por John Alvey que publicó en 1982 un informe en el que analizaba el proyecto japonés de la 5.ª G. Este comité propone una respuesta inglesa a este proyecto, y a modo de resumen explica la necesidad de responder al citado proyecto para garantizar la competitividad futura del Reino Unido en la industria de la Tecnología de la Información. Este informe contrasta con el que en 1973 publicó el Science Research Council, en el que se argumentaba lo costosas que resultaban las investigaciones en IA, y sugería que el gobierno no debía subvencionarlas, debido a que no se divisaban posibilidades a corto plazo de comercialización y rentabilidad económica.

Conferencia SPL Internacional de Londres (1982): fue la primera Conferencia celebrada en occidente sobre el tema del Proyecto de la 5.ªG. Cabe destacar las opiniones de:

Alex D'Agapeyeff, presidente de la conferencia, que describió el proyecto japonés como una amenaza.

Ed. Feigenbaum de la Universidad de Stanford, consideró el proyecto como una brillante estrategia comercial y muy ambicioso con relación a los conocimientos tecnológicos actuales.

El hardware de los ordenadores de la Quinta Generación

Los computadores actuales deberán aumentar sustancial-

mente su velocidad de operación para alcanzar los objetivos que se esperan de los Computadores de la Quinta Generación. Para aumentar esta velocidad se pueden seguir diversos caminos, pero en todos ellos se deberán cumplir las siguientes condiciones:

1) Mejorar la técnica de manipulación de información.
2) Modificar la arquitectura de los actuales ordenadores y sustituirlas por otras nuevas, de manera que se reduzca el recorrido de la información necesario para efectuar procesado, consiguiéndose en tiempos más cortos o bien que en un mismo intervalo de tiempo pueda haber mayor cantidad de información procesándose.
3) Modificar la tecnología de fabricación de los circuitos integrados. Estos elementos están constituidos por transistores, y cada uno de estos transistores, para propagar o efectuar un tratamiento de una señal (un dato o una información), produce un cierto retraso; por tanto se precisa de un cierto tiempo para efectuar la operación. Si la fabricación del circuito integrado se efectúa con otra tecnología más rápida se pueden reducir enormemente estos tiempos.
4) Aumentar el nivel de integración de los CI a fin de poder realizar más operaciones en un mismo elemento, reduciendo las distancias físicas que deben recorrer las señales para ir de un elemento procesador al siguiente.

Los circuitos integrados, base de los ordenadores actuales están fabricados con la tecnología del silicio, que es la única que permite la fabricación de circuitos integrados VLSI (del orden de 600.000 transistores en un solo chip).

La investigación se encamina principalmente a dos objetivos:

a) Obtener nuevas tecnologías más rápidas y que puedan ser integradas en circuitos VLSI.
b) Obtener densidades de integración superiores a las de la VLSI.

En cuanto a las tecnologías que están en fase de investigación cabe mencionar.

1) *La que utiliza el silicio* como materia base. Es una investigación a corto plazo que persigue llegar a la optimización de esta tecnología mientras no aparezca otra nueva que pueda sustituirla.
2) *La tecnología Josephson.* Presenta grandes ventajas en velocidad (es de 10 a 100 veces más rápida que la del

silicio) y su consumo de potencia es menor. Sin embargo, presenta los inconvenientes de que no se ha podido integrar en circuitos VLSI, y debe funcionar a muy bajas temperaturas, del orden de −272°C. Esta tecnología está siendo investigada por IBM.

3) *La tecnología del arseniuro de galio.* También se encuentra en fase de investigación; su velocidad es superior a la del silicio y su consumo de potencia inferior. Con esta tecnología se están logrando niveles de integración aceptables, pero el gran problema que plantea es su elevado coste, que impide su fabricación en serie.
4) *La tecnología HEMT* está siendo investigada por la compañía japonesa Fujitsu. Al igual que las dos anteriores es más rápida, y presenta un consumo menor de potencia que la del silicio. Como la Josephson, debe funcionar a bajas temperaturas, pero en el caso de HEMT es de −200°C, que es una gran ventaja. Su coste de fabricación no es muy elevado, y se prevee que en pocos años se podrá fabricar en circuitos con un nivel de integración aceptable. Puede ser la próxima tecnología que sustituya a la del silicio en algunas aplicaciones.

Por otro lado, a fin de conseguir densidades superiores de integración, se está estudiando el diseño bidimensional actual, a fin de obtener *circuitos integrados tridimensionales*. Es decir, hoy los circuitos integrados se realizan integrando los transistores uno al lado del otro e interconectándolos adecuadamente; si en lugar de distribuir los transistores en una superficie se pudiese hacer en un volumen, el número de transistores por circuito integrado crecería rápidamente, pero el problema de disipación de calor aumentaría sustancialmente, que es grave, teniendo en cuenta que ya presenta ciertos problemas con una distribución superficial.

La investigación de las nuevas tecnologías de fabricación de circuitos integrados ha dado algunos resultados; así a finales de 1.982 Toshiba consiguió fabricar un circuito integrado LSI (escala media de integración) en la tecnología de arseniuro de galio, y una velocidad cinco veces superior que sus homólogos en tecnología de silicio.

El programa de investigación del proyecto 5.ªG da una gran importancia a la implementación de circuitos integrados VLSI con 10 millones de transistores (en la actualidad se han conseguido 1.000.000). Para alcanzar estos niveles de integración, si además se pretende integrar funciones

específicas en un solo circuito, se deben superar dificultades de diseño, a parte de las tecnológicas existentes, debido a la complejidad que supone la interconexión de 10 millones de elementos de manera optimizada; por este motivo es esencial contar con la ayuda de potentes programas de CAD (diseño asistido por computador), lo que requiere:

a) Estructuras computacionales y algoritmos adecuados para su implementación en circuitos integrados VLSI de tipo bidimensional.

b) Sofisticados sistemas de CAD que ayuden a vencer la complejidad del diseño de circuitos integrados VLSI.



Los sistemas actuales de CAD no tienen la potencia ni prestaciones de los equipos necesarios para el diseño de circuitos VLSI de 10 millones de transistores, tarea reservada en un futuro inmediato a los computadores de la 5.ª Generación.

En el programa de investigación de hardware para el proyecto 5.ªG, los sistemas CAD para el diseño de circuitos integrados VLSI tienen una prioridad absoluta, pues estos circuitos son esenciales para la fabricación de los computadores de la 5.ªG. Los nuevos sistemas CAD para el diseño de circuitos VLSI con más de un millón de transistores, describirán también las especificaciones de los circuitos electrónicos, de los circuitos lógicos, el proceso de fabrica-

ción, el trazado y la disposición, el conexionado, la sincronización, y los procedimientos de comprobación. Estas especificaciones no las cumple ninguno de los sistemas CAD existentes en la actualidad.

El problema que existe, es que un sistema CAD de estas características debería implementarse en un ordenador de la 5.ªG. Evidentemente que en el proyecto de la 5.ªG los ordenadores van a jugar un papel muy importante; es decir, van a participar muy activamente en el proceso de su propia evolución. De hecho, sin las herramientas que suponen los ordenadores difícilmente se podría llegar a fabricar un ordenador o una máquina de la 5.ªG, debido a que conforme se vaya avanzando en el desarrollo del proyecto se precisará cada vez más de la inteligencia de los ordenadores.

Una parte muy importante del hardware de las máquinas de la 5.ªG, estará constituido por el conjunto de circuitos que servirán de soporte a los sistemas de memoria. Debido a la revolución que representa la 5.ªG en materia de tratamiento de la información en lugar de datos, los sistemas de memoria empleados hasta ahora deberán ser abandonados y diseñar otros nuevos que se adapten a las características de las máquinas de la 5.ªG.

En los ordenadores, hasta ahora, se guardaban en la memoria conjuntos de datos (bases de datos) e instrucciones. Los datos daban al procesador la información general y las instrucciones las órdenes necesarias para resolver el problema. En los ordenadores de la 5.ªG cambiará la estructuración; el procesador continuará necesitando información general (base de conocimientos), pero ahora se incluirá la información de tipo cultural que poseen normalmente los ciudadanos. Continuará empleando instrucciones (reglas de inferencia) que permitirán generar las señales lógicas que facilitarán la comunicación con los sistemas inteligentes; pero así como hasta ahora se empleaba una ordenación de tipo secuencial en las máquinas de la 5.ªG, la base de conocimientos deberá estar descrita en la memoria del ordenador, con todo un conjunto de conocimientos útiles y estructurando los detalles de tal foma, que los ordenadores puedan relacionar entre sí los diferentes fragmentos de información, de manera parecida a como las interrelacionan los seres humanos.

El nuevo enfoque conceptual de los sistemas de memoria; su capacidad y organización, depende del desarrollo de

nuevos y más eficaces soportes físicos de memoria, ya sea en innovaciones tecnológicas, circuitos integrados o en otros tipos de soportes de memoria. En la actualidad, los discos fijos, los discos flexibles y las cintas magnéticas son los tres soportes físicos de memoria más utilizados cuando se trata de almacenar gran cantidad de datos que no precisan de un direccionamiento muy rápido; el motivo principal de su empleo es la relación calidad/precio que ofrece este tipo de soporte físico de memoria.

La investigación en este campo está encaminada a conseguir nuevos sistemas de grabación magnética que sustituyan a los actuales, y también se está investigando en técnicas óptico-magnéticas por láser que pueden lograr aumentar en 50 veces la densidad actual de datos en el soporte físico de memoria.

A finales de 1982, como fruto de las investigaciones, apareció en el mercado el primer *disco óptico-magnético* por láser para almacenamiento permanente de información. Se han realizado grandes progresos en este campo consiguiéndose discos borrables que tienen aplicación tanto para almacenar información o datos como en video.

En el campo de las memorias de estado sólido también se han conseguido grandes avances, tanto en capacidad como en la reducción del tiempo de acceso a la información.

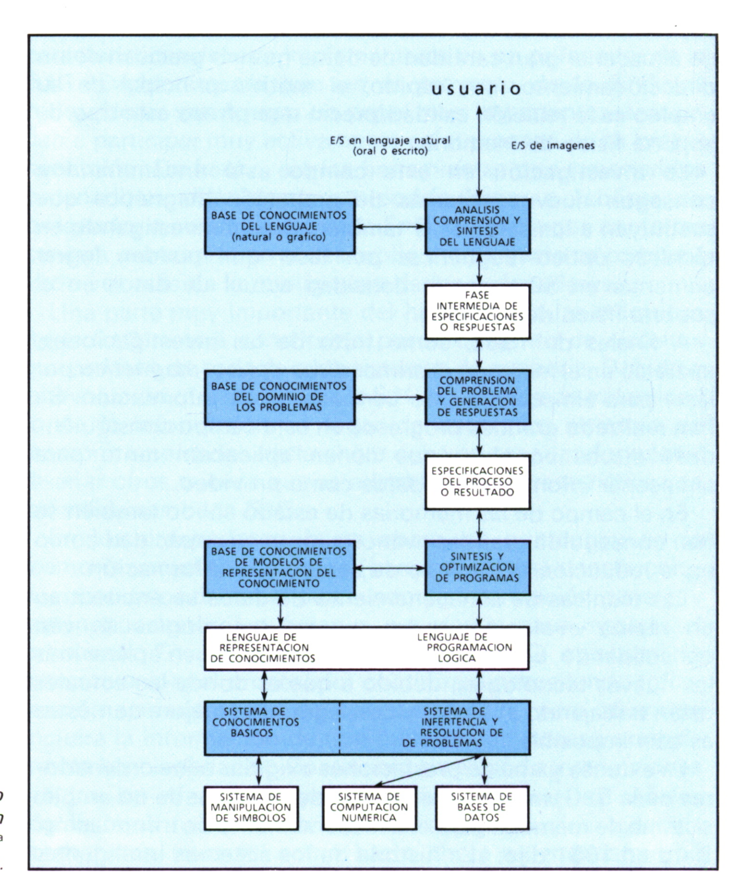
Las técnicas de almacenamiento de datos se encuentran en rápida evolución, y las nuevas tecnologías se van consolidando. En este campo es donde se deben aplicar más las nuevas tecnologías, debido a que es donde las actuales están trabajando al límite, y conseguir una mejora con éstas es casi imposible.

La extensa gama de prestaciones exigidas a los ordenadores de la 5.ªG, marca la necesidad de disponer de un amplio sistema de memoria para el almacenamiento de información. Bord en 1981 dijo: «La historia de los sistemas inteligentes puede visualizarse como la consecución de métodos para representar conocimientos». Debido a que los métodos de representación del conocimiento varían, también varían las características que deben reunir los sistemas de memoria.

La arquitectura de los ordenadores de la Quinta Generación

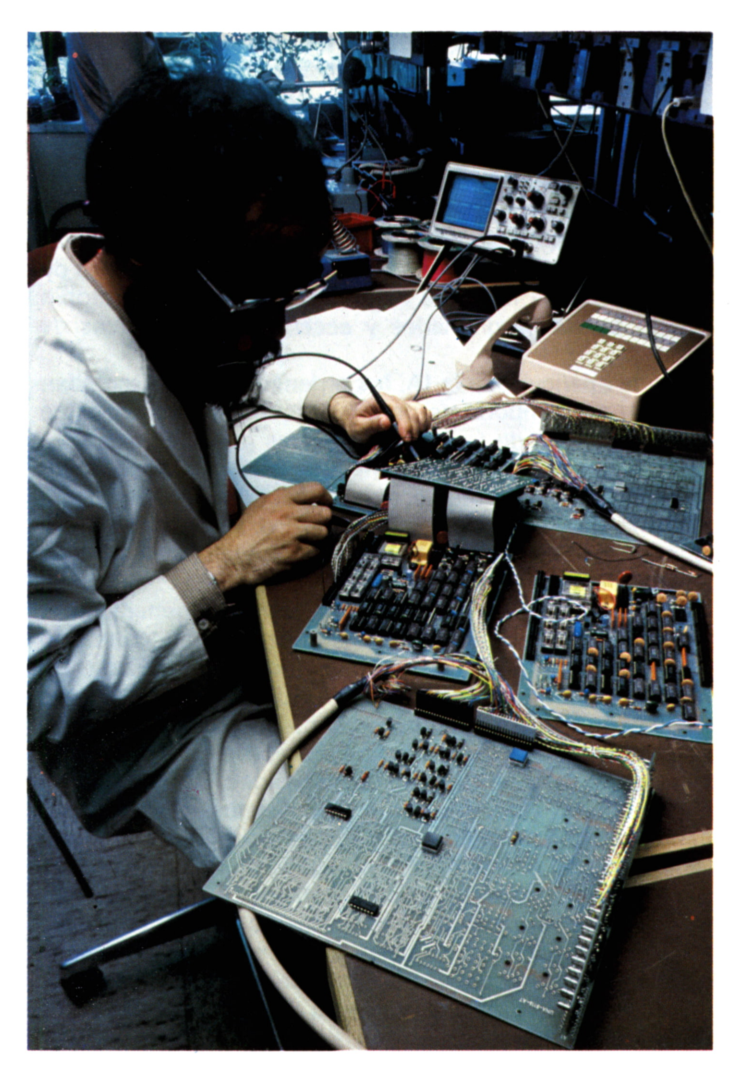
Los ordenadores de la 5.ªG estarán constituidos por

muchos sistemas independientes a fin de conseguir que un gran número de ellos puedan estar procesando información al mismo tiempo.



Esquema del procesado de información en un ordenador de la 5.ª Generación.

Los ordenadores de la 5.ªG constituyen un nuevo tipo de máquinas totalmente distintas de las de generaciones de ordenadores anteriores. En éstas se están introduciendo modificaciones de tipo tecnológico y se están perfeccionando las arquitecturas, pero no se han realizado modificaciones estructurales importantes. Los sistemas de la 5.ªG exigen una revisión total en todas las áreas relacionadas con el



Las nuevas tecnologías exigen personal de alta cualificación, no solamente en lo que hace referencia al diseño, sino también para la reparación y mantenimiento de las máquinas.

diseño de sistemas digitales de computación, abandonando los sistemas basados en las arquitecturas Von Neuman de operación secuencial. Los ordenadores de anteriores generaciones se diseñaron especialmente para realizar cálculos numéricos a alta velocidad para aplicaciones científicas,

técnicas y comerciales, mientras que los de la 5.ªG, están destinados al procesado de información.

No debe olvidarse que los fabricantes de ordenadores cada vez que han diseñado un nuevo modelo, han pretendido que todos los programas que podían funcionar con el modelo anterior pudiesen adaptarse al nuevo. Los ordenadores de la 5.ªG supondrán un inconveniente grave al no poder emplear el software diseñado para los anteriores ordenadores; sin embargo presentarán la enorme ventaja de «comprender» el lenguaje natural, de forma que el propio usuario pueda programarlos y acceder a sus archivos de datos.

Con la aparición de la IA, los ordenadores representaban un papel muy importante pero las arquitecturas simples de los ordenadores de las cuatro primeras generaciones, sólo permitían realizar procesos complejos mediante la aplicación de programas sumamente complicados, económicamente costosos y sumamente lentos. Con los sistemas de IA la necesidad de procesar información a muy alta velocidad ha aumentado sensiblemente.

Los computadores de las cuatro primeras generaciones procesaban la información mediante una arquitectura tipo Von Neuman que ejecuta las instrucciones secuencialmente. Mediante algunas mejoras que han sido introducidas, se ha conseguido ejecutar simultáneamente más de una instrucción, pero en este caso no puede hablarse de procesado paralelo de la información. La necesidad de procesar la información a alta velocidad en los sistemas de IA difícilmente se podrá satisfacer con sistemas de procesado secuencial, por ello se precisa un nuevo tipo de arquitectura que les permita procesar simultáneamente grandes volúmenes de datos en paralelo; es decir, los nuevos ordenadores, con varios procesadores, deberán ser capaces de trabajar simultáneamente sobre varias partes de un mismo problema.

Como consecuencia, el programa de la 5.ªG presenta dos tendencias fundamentales en el desarrollo de nuevas arquitecturas:

Los dos tipos más generalizados son las *Arquitecturas de flujo de datos* y las *Arquitecturas de funciones distribuidas.*

Las arquitecturas especiales suponen también perfeccionar los lenguajes actuales y desarrollar otros nuevos.

